

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

LUIZ GUSTAVO MACHADO DE CARVALHO

BIOMIMÉTICA E DESIGN:
EMULAÇÃO DO ESQUELETO DA ESPONJA
EUPLECTELLA ASPERGILLUM

BRASÍLIA
2018

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

LUIZ GUSTAVO MACHADO DE CARVALHO

BIOMIMÉTICA E DESIGN: EMULAÇÃO DO ESQUELETO
DA ESPONJA *EUPLECTELLA ASPERGILLUM*

Trabalho de conclusão de curso apresentado à disciplina TCC2 do curso de Design, Habilitação Projeto de Produto, do Departamento de Desenho Industrial do Instituto de Artes da Universidade de Brasília.

Orientadora: Nayara Moreno de Siqueira

BRASÍLIA
2018

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Dr^a. Symone Jardim

Prof. Dr. Tiago Barros

Brasília ____/____/____

AGRADECIMENTOS

Eu agradeço a Marília Teresinha e Jaimilton Vogado, meus pais – cujo apoio em todos os sentidos foi essencial para a concretização desse trabalho – por estarem dispostos a investir na minha educação desde cedo e por apoiarem as minhas escolhas pessoais e profissionais, e sobretudo à minha mãe, que se interessa pelos meus projetos e sempre esteve disposta a me ajudar independente da situação.

Agradeço às orientadoras Nayara Moreno e Georgia Maria por entenderem os meus projetos, por me darem confiança de que as coisas percorriam um bom caminho e por estarem dispostas a ouvir minhas mudanças de planos frequentes, até mesmo quando decidi separar o projeto original da dupla habilitação em dois projetos diferentes.

Agradeço aos meus amigos do curso de design pelos comentários, elogios e discussões, definitivamente aprendi muito e ganhei mais confiança na realização dos meus projetos devido ao apoio dessa comunidade. Em especial a Bianca Rondon, Nathalia Delgado e Alice Araujo, por me acompanharem por todo o curso.

RESUMO

Este projeto de conclusão de curso em design apresenta o desenvolvimento de uma padronagem dinâmica com base na estrutura da esponja *Euplectella aspergillum*. A partir da possibilidade de utilizar princípios da biomimética na criação de projetos de design para inovação formal e sustentável utilizou-se do método “biologia para o design” conjuntamente à técnica da modelagem paramétrica para desenvolver uma padronagem tridimensional aplicável em qualquer superfície com base em uma alimentação simples de um código visual, chegando ao objetivo em âmbito digital conjuntamente a uma análise segundo os “princípios da vida” da biomimética, sugerindo bons usos para o código e também apresentando uma prospecção para testes e desenvolvimentos futuros.

Palavras-chave: biomimética; design paramétrico; padronagem dinâmica; fabricação digital.

ABSTRACT

The conclusion of this final paper in product design presents the development of a dynamic pattern based on the structure of the sponge *Euplectella aspergillum*. This theme was established based on the possibility of using biomimicry principles to create design projects that incorporate formal and sustainable innovation. The method utilized was the “biology to design”, alongside parametric modelling in Grasshopper, resulting in a 3D pattern applicable in any digital surface by simple interactions with a visual code, beyond the code the project was analysed by using biomimicry’s “life’s principles”, suggesting good use of the code alongside a prospect for future testing and development.

Keywords: biomimicry; parametric design; dynamic patterning; digital manufacturing.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - RESULTADO SÍNTESE DA FASE DE DESCOBERTA.....	32
FIGURA 2 - COMPARAÇÃO ENTRE MÓDULO VETORIAL, IMAGENS DE MICROSCOPIA ELETRÔNICA E REPRESENTAÇÕES GRÁFICAS.....	34
FIGURA 3- INTERFACE R-G (<i>RHINOCEROS 3D E GH</i>), MÓDULO DE 24 PONTOS.....	35
FIGURA 4 - INTERFACE R-G, PADRONAGEM 1 MAPEADA EM CILINDRO.....	35
FIGURA 5 - APLICAÇÃO DE ESPESSURA E PADRONAGEM DINÂMICA.....	36
FIGURA 6 - PADRÃO DE ESPÍCULAS, <i>EUPLECTELLA ASPERGILLUM</i>	37
FIGURA 7 - INTERFACE R-G, LINHAS DO PADRÃO DE CRUZ AVANÇANDO NO ESPAÇO 3D (DETALHE).....	38
FIGURA 8 - CRUZAMENTO DAS TRAMAS DE ESPÍCULAS.....	38
FIGURA 9 - CONEXÃO POR PROXIMIDADE TRIDIMENSIONAL 1.....	39
FIGURA 10 - CONEXÃO POR PROXIMIDADE TRIDIMENSIONAL 1.1.....	40
FIGURA 11 - POPULAÇÃO DE PONTOS NAS HASTES RESULTANTES DA CONEXÃO POR PROXIMIDADE TRIDIMENSIONAL.....	41
FIGURA 12 - CONEXÃO POR PROXIMIDADE TRIDIMENSIONAL 2, RESULTADO PLANO.....	41
FIGURA 13 - CONEXÃO POR PROXIMIDADE TRIDIMENSIONAL 2, HASTES VERTICAIS.....	42
FIGURA 14 - ALTERAÇÃO DOS VALORES DE X E Y NO CÓDIGO COMPLETO.....	43
FIGURA 15 - ANATOMIA DO CÓDIGO DA SUPERFÍCIE FINAL.....	45
FIGURA 16 - APLICAÇÃO DO CÓDIGO 1, SUPERFÍCIE IRREGULAR.....	46
FIGURA 17 - APLICAÇÃO DO CÓDIGO 1, SUPERFÍCIE IRREGULAR COM ESTRUTURAS INTERNAS.....	46
FIGURA 18 - APLICAÇÃO DO CÓDIGO 2, MÚLTIPLAS SUPERFÍCIES.....	47
FIGURA 19 - APLICAÇÃO DO CÓDIGO 2, DETALHE DA APLICAÇÃO EM MÚLTIPLAS SUPERFÍCIES.....	47
FIGURA 20 - APLICAÇÃO DO CÓDIGO 3, SUPERFÍCIE ABERTA.....	48
FIGURA 21 - APLICAÇÃO DO CÓDIGO 3, SUPERFÍCIE ABERTA COM ESTRUTURAS VERTICAIS.....	48
FIGURA 22 - APLICAÇÃO DO CÓDIGO 4, SUPERFÍCIE ONDULADA, VARIAÇÃO DO CÓDIGO.....	49
FIGURA 23 - APLICAÇÃO DO CÓDIGO 4, SUPERFÍCIE ONDULADA 2.....	49

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	8
1 REVISÃO DE LITERATURA.....	11
1.1 BIOMIMÉTICA.....	11
1.2 BIOFILIA.....	18
1.2.1 Biofilia e Prática de Projeto.....	20
1.3 FABRICAÇÃO DIGITAL.....	22
1.4 DESIGN DE SUPERFÍCIE.....	27
2 MÉTODO.....	30
2.1 PROCESSO PELA BIOMIMÉTICA.....	31
2.1.1 Desenvolvimento com o Grasshopper.....	34
3 RESULTADOS.....	44
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	53

INTRODUÇÃO

Na atualidade o design apresenta uma perspectiva plural e complexa, na qual tem ganhado espaço como mediador em diversas áreas e influencia o processo metodológico de organizações no mundo todo. O design também é influenciado por outras áreas, sendo a flexibilidade do design na maneira de tratar projetos de maneira holística o que permite que a área possa incorporar toda sorte de inspiração. Buscou-se então para o desenvolvimento deste projeto inspiração na biomimética, visto que a natureza nos seus 3.8 bilhões de anos de evolução criou soluções para todo tipo de problema, de maneira equilibrada e sustentável.

A proposta desse trabalho de conclusão de curso foi explorar a biomimética como tema para um projeto de design de superfície, resultando em uma modulação sistêmica e codificada da superfície criada, tendo sido explorada a possibilidade da programação em modelagem 3D ser utilizada para a criação de padronagens dinâmicas com base na emulação de organismos vivos.

A intenção de trabalhar com a biomimética parte do interesse de explorar essa área complementar ao design como uma possibilidade de inovação técnica, ética e metodológica. A biomimética se apresenta como a área que busca promover projetos a partir da emulação da natureza tanto do ponto de vista técnico (mecanismos, estruturas e sistemas) quanto de um ponto de vista ético (buscando um modo de vida cíclico e sustentável que busca funcionar como a natureza onde nenhuma espécie sobrepõe o ecossistema).

Dentro da perspectiva da biomimética seguiu-se a visão metodológica que parte da biologia para o design, buscando em quais organismos poderia se procurar soluções para o desenvolvimento de superfícies. A decisão de se trabalhar com a *Euplectella aspergillum* parte de essa esponja ter sua composição estrutural bem descrita na literatura, com essa estrutura sendo descrita como resistente à pressão, forças laterais e com alto nível de resistência do todo caso ocorra algum dano parcial, apesar de ser feita de sílica. A composição do padrão visual da esponja também favorece que a superfície tenha resultados decorativos, para além da composição estrutural.

As técnicas de fabricação digital tem se popularizado na última década e possuem uma grande afinidade com a biomimética e com o design de superfície por permitir a produção de formas complexas com custos baixos e com facilidade de prototipação, a fabricação digital também aponta para uma possibilidade de diminuição do consumo industrial em larga escala, diminuindo a quantidade de estoques, desperdício (por meio de processos aditivos e usinagem mais eficiente) e colocando o usuário mais próximo da produção e assim aumentando o valor do produto.

Pensando o design de superfície como a estruturação de um módulo que possa ser re-aplicado em diversos formatos, a técnica escolhida para o desenvolvimento foi a modelagem

paramétrica, onde por meio de código, assim que for consolidado o padrão, poderão ser desenvolvidas diversas aplicações. Essa escolha também parte da perspectiva que esse código poderá ser compartilhado para o desenvolvimento de outras aplicações e modificações por parte de outros projetistas, favorecendo assim a inovação.

Os objetivos do trabalho foram estabelecidos da seguinte maneira:

Geral

Desenvolver, sob a lógica da biomimética, um projeto de superfície que parte da emulação da composição estrutural da esponja *Euplectella aspergillum* e explorar as capacidades dessa superfície a partir da criação de um sistema flexível de aplicação do sistema criado.

Específicos

- Posicionar o ciclo de vida da produção fora do ciclo padrão da indústria, desenvolvendo como ele pode ser de projeto aberto, de menor escala e de menor impacto ambiental, focado na flexibilidade da criação conforme a necessidade em vez de seguir a lógica da produção em massa.
- Promover o design de superfície enquanto meio, gerando resultados que eventualmente possam ser utilizados por outros projetistas de maneiras diversas em suas próprias criações.
- Desenvolver o projeto com base na possibilidade da fabricação digital, pensando esta como ferramenta para uma produção que seja menos dispendiosa, mais sustentável e que envolva o usuário no processo.

O primeiro capítulo do trabalho aborda uma revisão geral da literatura relacionada aos temas principais do trabalho: biomimética, biofilia, fabricação digital e design de superfície, o objetivo em se trabalhar com esses quatro temas foi o de buscar apresentar um pouco da complexidade em se desenvolver projetos inovadores em design, visto que essas áreas passam por questões como novas propostas metodológicas, visões éticas para o design, a expansão das possibilidades ferramentais disponíveis e tendências para o futuro da criação projetual.

O capítulo sobre o desenvolvimento metodológico parte da discussão teórica – selecionando uma parte das possibilidades discutidas – e desenvolveu-se dentro da perspectiva da biomimética e utilizando-se da modelagem paramétrica um projeto de caráter técnico e exploratório, que resultou no desenvolvimento de uma ferramenta digital (estabelecida dentro do programa *Grasshopper*) de padronagem dinâmica com base na estrutura da esponja *Euplectella aspergillum*.

Os resultados finais atingidos no projeto, e o quão alinhados estes estão com a teoria discutida são apresentados no terceiro capítulo. Os pontos de discussão nesse capítulo são a

apresentação da ferramenta, testes em superfícies digitais realizados com o código, avaliação segundo a biomimética e possibilidades de uso para o projeto.

No quarto capítulo conclui-se com uma visão geral do projeto, quais foram limitações, ganhos e desenvolvimentos que ocorreram ao longo da execução e pesquisa, quais outras iterações e testes podem ser feitos com o resultado e também quais são as possibilidades gerais de desenvolvimento futuro.

1 REVISÃO DE LITERATURA

Este capítulo pretende estabelecer o contexto teórico que contextualiza o projeto desenvolvido e sua complexidade, focado nos temas principais que norteiam o projeto, sendo esses a biomimética, a biofilia, a fabricação digital e o design de superfície. Cada um desses temas é apresentado em um contexto geral, buscando relacioná-los objetivamente com o desenvolvimento do projeto.

O conteúdo apresentado aqui vai além do que foi concretizado no projeto, mas serve de apoio não somente para o desenvolvimento e análise de resultados, mas também para prospecção futura de continuidade do projeto e visão sistêmica de quais são os fatores que influenciaram o desenvolvimento do projeto direta ou indiretamente.

1.1 BIOMIMÉTICA

A biomimética é a área de estudo que busca nos 3.8 bilhões de anos da vida na terra encontrar soluções para o maior problema que acompanha a espécie humana desde o seu princípio, que é ter uma continuidade no planeta enquanto espécie. Esse problema, nos primórdios da humanidade, antes do que poderia ser chamado de civilização, e por muitos séculos depois consistiu de uma relação instável com a natureza, sendo essa por vezes benéfica, provendo alimento, segurança, prazer e conforto e por vezes opressora, cheia de doenças, animais selvagens, clima agressivo e falta de recursos. O primeiro movimento que o ser humano fez em relação a essa instabilidade da natureza foi a agricultura, com a qual pela primeira vez nos aproveitamos dos mecanismos refinados pela evolução (e pela domesticação humana de espécies) para conseguirmos alguma estabilidade perante ao caos natural.

Nas eras subsequentes nós progressivamente fomos agindo de maneira cada vez mais controladora e agressiva, com o desenvolvimento de artefatos cada vez mais refinados, revolução industrial, revolução informacional e todo tipo de tentativa de subjugar a natureza que antes oprimia os humanos. Durante o século XX muito se fez para dominar a natureza, assim como se tinha uma grande expectativa de que no século XXI tecnologias como o controle do clima, a modificação genética de espécies e o domínio total de qualquer doença seriam realidade e nos tornariam imunes a qualquer influência da natureza em nossas vidas. Muitas tecnologias nesse sentido foram desenvolvidas, algumas de excelente qualidade, entretanto em face a questões como os impactos a longo prazo de alimentos transgênicos, o aquecimento global, a crise do lixo, o fortalecimento de superbactérias, a epidemia de doenças mentais e a perspectiva de que os recursos do planeta em breve não conseguirão mais resistir à superpopulação humana mostram que a atitude atual dos humanos para com o planeta não é sustentável.

O pressuposto de que o progresso humano é medido pela nossa separação, senão transcendência, da natureza é uma errônea e perigosa ilusão. O bem-estar mental e físico das pessoas se mantém altamente dependente do contato com o ambiente natural, sendo esse uma necessidade e não um luxo para se atingir uma vida de saúde e satisfação, mesmo na vida moderna urbana. (KELLER, 2008).

O nome “Biomimética” significa literalmente “imitação da vida”, sendo advinda das raízes gregas *bios* (vida) e *mimikos* (imitação), sendo assim a área que busca não somente imitar a forma e os mecanismos da natureza, mas também a maneira que esta persiste no planeta, de maneira cíclica e contínua, em um equilíbrio dinâmico.

A biomimética (*biomimicry*) se posiciona em comparação com as mais diversas biociências como aquela que primeiramente trabalha obtendo informações da natureza e não informando esta (como a bioengenharia faz, por exemplo), ela utiliza a informação da natureza e não o material (ao contrário da biotecnologia, por exemplo) e tem uma preocupação sistêmica e ética em relação a sua produção, ao contrário do que normalmente é visto na biônica. O termo foi criado e popularizado por Janine Benyus em seu livro *Innovation Inspired by nature*, cuja primeira edição foi publicada final do século XX. Esse livro trouxe um compilado de exemplos, expectativas e previsões de como a Biomimética poderia ser a área do conhecimento a encontrar soluções para os mais diversos conflitos humanos em uma perspectiva não somente tecnológica, mas expandida para as mais diversas necessidades humanas, da organização de empresas, à construção de prédios e a como deveríamos gerir nossa sociedade.

A base principal crença da biomimética é de que ao emular o comportamento da natureza e a sua maneira de funcionar nós poderíamos entrar novamente em harmonia com o planeta, isso ocorreria devido ao fato de que no mecanismo de seleção evolutiva natural a natureza eliminou soluções ruins, soluções tóxicas, soluções que não estavam de acordo com o ambiente e por conseguinte manteve as soluções que favorecem equilíbrio entre as espécies de um determinado ecossistema. De maneira similar, poderíamos incorporar o que é tido como os *Life's Principles* aos nossos projetos para torná-los mais adequados à sustentabilidade. Esses princípios são as ações tomadas pela maior parte dos seres vivos que os permitem não só prosperar, mas também permitem que seu ambiente prospere de maneira prolongada (BAUMEINSTER, 2014).

Entretanto realizar projetos inspirados na natureza nem sempre gera resultados sustentáveis, para conseguir resultados holísticos nesse sentido a biomimética deve ser, idealmente, desenvolvida em três níveis: forma, onde o objetivo consiste em emular uma parte física ou mecânica de um organismo para se obter inovação; processo, consiste em se inspirar na maneira como a natureza cria, sem desperdício (e em baixa escala), à temperatura am-

biente, com materiais multifuncionais, com química a base d'água e sem elementos tóxicos; ecossistema, o ideal mais complexo de se obter, faz referência ao estabelecimento da produção dentro do sistema ao qual ela irá se encaixar e como ela pode fazer parte deste da maneira mais sustentável possível. O conteúdo biológico é absolutamente necessário na biomimética, mas o designer enquanto projetista pode utilizar do conhecimento biológico para intervir nos processos de fabricação, estando assim também no centro da aplicação da biomimética enquanto inovação (KENNEDY, 2015). Outras perspectivas, como o BioTRIZ, tem enfoque sobretudo na inovação tecnológica (VINCENT et al, 2006), a biomimética também pode ser considerada como uma teoria que está focada na inovação formal, com enfoque na procura de soluções para o design industrial .

A biomimética, na visão do *Biomimicry Institute* 3.8 (instituto fundado por Dayna Baumeister e Janine Benyus para a promoção da biomimética em âmbitos tanto acadêmicos como mercadológicos), no seu desejo de realizar mudança cultural trabalha com três aspectos do que seria praticar biomimética: ethos, que é a questão ética do trabalho em relação à biomimética, na qual estariam os valores mais profundos relacionados à questões como sustentabilidade e um respeito geral pela vida; reconexão, que é reencontrar a percepção de que o ser humano está conectado e faz parte da natureza, e que a sobrevivência de um depende da continuidade do outro; emulação, que é o aspecto mais prático e projetual, no qual há a intenção de replicar as estratégias da natureza nas suas mais diversas formas (BAUMEINSTER, 2014).

A manifestação da prática da biomimética está atrelada ao uso do que é apresentado como Life's Principles, tidos como a principal e mais relevante ferramenta da biomimética, que são aspectos gerais compartilhados pela maior parte dos seres vivos e que os permitem prosperar de maneira conjunta ao seu ambiente, estes são apresentados por Dayna Baumeinster (2014) da seguinte maneira:

- Sobrevivência por meio da evolução:

Discorre sobre a continuidade de modificações, re informações e seleções que a natureza realiza para filtrar as soluções mais adaptadas. Inclui:

- Replicar estratégias que funcionam;
- Integrar o inesperado (analogia com a mutação genética);
- Recombinar Informações.

A simulação de um processo evolutivo seguindo princípios bastante similares aos propostos pode ser obtida incorporando essa lógica ao processo ideativo de geração de alternativas no design, mas também pode ser feita por meio de processos algorítmicos por meio de softwares, como o *plugin* para o Grasshopper do Rhino 3D, Galápagos (*plugin* dedicado ao design generativo, no qual por meio de parâmetros de construção e seleção são gerados continuamente soluções que são continuamente testadas, misturadas e selecionadas dentro de

um número variável de iterações para a conclusão em soluções evolutivas).

- Adaptação à mudanças no ambiente:

Discorre sobre a lógica de se criar sistemas que sejam duradouros por serem capazes de se comportar de maneira adaptativa. Inclui:

- Incorporar Diversidade;
- Auto recuperação para manutenção da integridade;
- Incorporar resiliência por meio de variação, redundância e descentralização.

A lógica deste princípio se apresenta no pensamento de um sistema que não seja planejado de maneira a funcionar apenas com o mínimo, e sim que seja planejado para ser duradouro e resiliente, que falhas em pontos específicos não corrompam o todo.

- Ser afinado e responsivo em relação ao seu ambiente:

Discorre sobre a integração do projeto com os recursos e possibilidades do local onde o projeto será desenvolvido ou aplicado.

- Se aproveitar de processos cíclicos;
- Usar recursos de alta disponibilidade no local, com baixo custo energético;
- Incorporar o uso de feedbacks cíclicos;
- Favorecer relacionamentos cooperativos.

A preferência por recursos locais e de fácil acesso favorece um impacto ambiental menor no desenvolvimento de projetos, assim como estar atento às necessidades e possibilidades do local pode significar uma integração maior do resultado com os demais grupos humanos e aspectos ambientais.

- Integrar desenvolvimento e crescimento:

Discorre sobre pensar sistemas cujo crescimento favoreça não somente o todo, mas também suas partes e não somente uma ou mais partes em específico, mas também o todo.

- Auto-organização;
- Construir os sistemas pensando do início ao fim;
- Utilizar componentes modulares e interligados;

Faz referência a sistemas que não buscam o máximo de crescimento possível, e sim que crescem junto com o desenvolvimento do todo, com bases sólidas e descentralizadas, onde uma parte não se sobrepõe às demais.

- Ser eficiente com o uso de recursos:

Discorre sobre o uso correto dos recursos disponíveis, observando a maneira como a natureza utiliza os seus recursos.

- Usar processos que tenham um baixo consumo energético;
- Usar design multi-funcional;
- Utilizar materiais recicláveis ou que podem ser reciclados;
- Favorecer a função por meio da forma.

- Usar química condizente com a preservação da vida:

Discorre sobre como a natureza realiza processos químicos não agressivos na sua criação e sobre como podemos nos inspirar nisso para mudar nossa lógica produtiva;

- Usar materiais que se decompõem em partículas benígnas;
- Escolher com parcimônia quais elementos usar e em que quantidade;
- Usar água como solvente para processos químicos.

Sob a perspectiva metodológica, teórica e prática desenvolvida pelo *Biomimicry Institute* 3.8 a biomimética também não é pensada somente como uma maneira de gerar inovação, mas também existe junto a esta uma intenção de subverter culturalmente a nossa sociedade de uma produção e consumo agressivos e destrutivos para uma sociedade que pense em um real desenvolvimento sustentável, estando isso relacionado com o ethos da biomimética e a prática dos *Life's Principles*. Assim, buscando uma aceitação e maior das ideias da biomimética por parte de projetistas a biomimética possui uma lógica que não propõe uma substituição de métodos atuais de projetos por um método sustentável, mas sim propondo conteúdo teórico e metodológico suplementar que permita projetos atuais serem desenvolvidos não só de maneira mais sustentável, mas também com soluções inovadoras a partir das soluções pré existentes na natureza.

A nomenclatura utilizada na divisão das etapas de projeto pelo *Biomimicry Institute* 3.8 segue uma linha que lembra as etapas mais comuns do design de serviço, com ambas tendo etapas de compreensão do projeto/usuário/contexto; de descoberta e definição da versão refinada do projeto a ser desenvolvido; de criação e geração de alternativas; e de avaliação dos resultados. Ambos os *mindsets* assumem a não linearidade dessas fases, com a principal diferença sendo que o design de serviço normalmente está centrado no uso por humanos e a biomimética nos *Life's Principles*.

A biomimética ainda se propõe a organizar a sua lógica de projeto a partir de duas possibilidades de pontos de partida, uma mais clássica que é o início a partir de um problema ou desafio onde se procura pelos recursos da biomimética para resolvê-lo, e a outra possibilidade que é a partir da inspiração da biológica seguida de um desejo de implementação pela crença de que a estratégia natural identificada tem potencial para gerar inovação, seguindo esse caminho o processo fica absolutamente não linear em relação às etapas de projeto discutidas, sendo que inclusive o processo começaria pelo momento de descoberta.

Outro aspecto metodológico da biomimética é que o processo de descoberta e criação

é baseado na busca de referências e traduções de soluções naturais, o que normalmente significa a procura do que é chamado de *deep principle* (estratégias comuns que se repetem em diversos organismos ou sistemas naturais, o que mostraria o possível valor dessa adaptação para o problema em específico) ou uma outra estratégia natural que possa acessar o problema de design em questão. Parte do processo é encontrar diversas proposições para o problema em questão, mas como sistemas naturais não funcionam em isolamento, existe um processo de destilar no sistema observado qual é a parte relevante para a solução esperada, assim como testar para entender se o que se pensa como adequado realmente é funcional.

A biomimética aceita tanto a tradução literal de aspectos de organismos (como a simulação do funcionamento de um músculo para o movimento de um robô) ou a reprodução metafórica da solução encontrada (como analisar o comportamento de um grupo específico de organismos e traduzir esse comportamento para um método de organização de equipes). O processo literal é mais fácil de ser avaliado e relação a aplicação e funcionalidade do projeto, entretanto tem a dificuldade de normalmente exigir um conhecimento biológico mais técnico e aprofundado, a aplicação metafórica tem a vantagem de ser menos exigente em relação à destilação do conhecimento técnico e por promover a prática da biomimética de maneira mais acessível, contudo pode gerar aplicações superficiais da biomimética.

Ingrid de Pauw (2015) selecionou a biomimética, juntamente com dois outros métodos, como áreas focadas em design sustentável pertencentes a três critérios: fazem referência à natureza, usam a natureza no processo e são aplicáveis no desenvolvimento de produtos.

As outras duas perspectivas são os métodos *cradle to cradle* (perspectiva de desenvolvimento sustentável que busca uma produção cíclica na qual não há desperdício e dejetos - a produção *cradle to grave* - pensando assim em todas as etapas de um ciclo de vida de um produto e focando em realizar impacto positivo a partir da produção, em vez de somente reduzir impacto negativo) e também o *natural capitalism* (que propõe o desenvolvimento sustentável atrelado ao desenvolvimento econômico, visando estratégias naturais rentáveis).

Na comparação das três entre si e concluiu-se que todas as abordagens possuem limitações, mas que a biomimética e a *cradle to cradle* possuíam a possibilidade de gerar resultados mais expressivos no desenvolvimento de produtos sustentáveis inspirados na natureza, já que a *natural capitalism* possuía somente um exemplo de produto utilizando a perspectiva apresentada. Observações apresentadas também incluem o fato de que a biomimética e a *cradle to cradle* tem um enfoque sobretudo ecológico, dando poucos direcionamentos sobre a sustentabilidade econômica dos projetos desenvolvidos, para além disso nenhuma das três áreas possui um enfoque no desenvolvimento sustentável social, não abordando temas como a pobreza, equidade social e igualdade de gênero, por exemplo, entretanto, os métodos não impedem a aplicação de outras abordagens externas que tenham esse foco conjuntamente.

Diferenças sobre os dois processos incluem o fato de a biomimética frequentemente preferir e direcionar ao uso de materiais renováveis e biodegradáveis, enquanto o *cradle to*

cradle tende ao uso de materiais técnicos, que são sistemicamente incorporados dentro do ciclo de vida do produto para serem reciclados ou reaproveitados, além disso a biomimética possui mais ferramentas focadas na parte formal e funcional dos produtos.

Outras conclusões sobre os dois processos, julgados similares por Pauw, são de que ambos trabalham em cima de princípios de projeto (utilizando estes para acessar a sustentabilidade em um nível sistêmico), ambos buscam a perspectiva de atingir sustentabilidade, em vez de reduzir insustentabilidade, fazendo parte dessa visão a ideia de que produtos podem ser criados para se encaixarem no contexto contemporâneo de forma sustentável, para além de somente consumirem menos recursos. Essa visão de Pauw se encaixa com a ideia apresentada por Baumeinster (2014) de que existe um ethos cultural na biomimética, que se trata de mudar culturalmente a sociedade e sua relação com a natureza e o consumo, pensando em como podemos fazer novamente parte da Terra de maneira harmônica. A reflexão ética sobre sustentabilidade e como essa se manifesta na ecologia da sociedade se expande fato de que a questão da sustentabilidade não está somente na mão do projetista, mas também do usuário e consumidor.

No caso de ambos os processos também foi observado nos estudos de caso discutidos por Pauw que todos os produtos conseguiram cumprir com critérios de sustentabilidade somente parcialmente, sendo que a perspectiva de reduzir insustentabilidade ainda está presente em diversos projeto e que a perspectiva de gerar impacto positivo com a produção foi raramente vista.

Dentro da parcialidade observada na aplicação dos princípios de sustentabilidade dos métodos também foi observado que princípios como “utilizar energias renováveis” e outros que estão fora do escopo tradicional de ação de um designer dentro de um projeto foram muitas vezes não desenvolvidos. Essa análise de Pauw reforça a ideia discutida em diversas abordagens de design centradas no usuário de que equipes para o desenvolvimento de projetos verdadeiramente contextualizados e inovadores precisam ser transdisciplinares, para que todas as áreas que precisem ser acessadas o sejam de maneira correta.

Observado de maneira positiva, e condizente com a ideia prática do *biomimicry thinking*, que seria a perspectiva de que a abordagem da biomimética não é um método em si, ambas as abordagens parecem funcionar dentro do que é tipo como o modelo mental do designer ou maneira como o designer trabalha, oferecendo a possibilidade de iterar, explorar, modificar e trabalhar os métodos de sua própria maneira.

Um ponto relevante sobre a prática de design é que esta está atrelada à experiência de projeto, sendo assim é de se esperar que não se consiga atingir todos os princípios desde a primeira vez que se utiliza um método ou uma perspectiva, sendo a mudança cultural no desenvolvimento e a intenção de aprendizado bastante importantes também, visto que esses aspectos permitirão o amadurecimento da prática da biomimética dentro das universidades e empresas, aumentando o repertório de práticas e possivelmente aumento a eficácia dos projetos em atingir os objetivos de inovação e sustentabilidade.

1.2 BIOFILIA

A biofilia é a hipótese de que possuímos, enquanto espécie, uma profunda conexão com a natureza que vai além da provisão de recursos para nossas necessidades materiais e fisiológicas. Para a biofilia nós respondemos cognitivamente a reforços positivos e negativos advindos de padrões naturais que estariam atrelados à nossa evolução enquanto gênero (*Homo*) e espécie na savana africana. A biofilia se manifesta na nossa relação e percepção de outros organismos, na nossa relação com o espaço, no desenvolvimento da cultura humana e trás uma visão própria para a conservação ambiental: preservar e aprender a entender a nossa relação intrínseca com a natureza, e como aplicar isso em projetos, é uma maneira de promover o bem-estar, a produtividade e a criatividade, e de manter essa possibilidade para as próximas gerações. O criador do termo, Edward O. Wilson, apresenta o termo de maneira bastante objetiva como sendo:

A tendência intrínseca (ao homem) de focar na vida e em processos análogos aos da vida (WILSON, 1984 p. 10).

Stephen R. Kellert expandiu sobre o termo:

A hipótese da biofilia proclama uma dependência humana em relação à natureza que se estende muito além das necessidades físicas e materiais para englobar também ânsias estéticas, intelectuais e cognitivas humanas e até mesmo satisfação e significação espiritual (KELLERT, 1993).

A discussão sobre a validade da hipótese da biofilia tem ganhado força com o crescimento de pesquisas e testes focados em observar o impacto positivo da aplicação de padrões biofílicos, entretanto a pesquisa na área que estuda a visão negativa da resposta humana aos padrões naturais, a biofobia, têm resultados melhor definidos, visto que essa área é mais explorada em pesquisas na psicologia. A biofobia é apresentada por Roger S. Ulrich fazendo uma conexão direta com o seu componente genético:

O termo biofobia é definido aqui como uma predisposição parcialmente genética a associar imediatamente, com base em exposição e informação negativas, e assim manter de maneira persistente respostas intensamente negativas de medo ou rejeição a estímulos que teriam constituído riscos durante a evolução (ULRICH, 1993)

Ulrich relaciona essa predisposição para respostas intensas ao conceito de *biologically prepared learning* (aprendizado biologicamente preparado), sendo este diferente de outros aprendizados culturais por serem mais facilmente transformados em fobias e por seus resultados negativos serem mais persistentes, quando se comparado com outros aprendizados culturais, sendo também observada em outros animais. Por exemplo a fobia a cobras e aranhas é mais presente, intensa e difícil de superar que o medo de armas ou fios elétricos soltos, por exemplo. (ULRICH *apud* COOK, HODES e LANG 1986; HUGDAHL e KARKER 1981).

O motivo biológico e evolutivo para essa predisposição estaria relacionado com o fato que organismos, e espécies, que estivessem biologicamente preparados para rapidamente aprender e ter respostas ágeis a estímulos que representam perigo teriam maiores chances de sobreviver e propagar os seus genes.

Dessa maneira, pensar na biofilia enquanto um componente genético faz sentido no contexto evolucionário, porque da mesma maneira que os organismos adaptados para obter respostas negativas tem mais chance de sobreviver, os organismos e espécies com predisposição para identificar situações positivas tem mais chances de encontrar comida, segurança, conforto e relaxamento para conseguir se manterem vivos e saudáveis.

Nossos ancestrais viveram em ambientes desprovidos dos confortos e conveniências modernos. Sua sobrevivência, saúde e sucesso reprodutivo dependiam de suas habilidades de achar e utilizar informações ambientais corretamente. Era necessário saber como interpretar sinais de ambientes animados e inanimados e assim ser capaz de adaptar seu comportamento ao contexto (HEERWAGEN e ORIAN, 1993)

A manifestação da biofilia no reconhecimento visual de padrões aos quais nós estamos predispostos geneticamente a perceber se expande para além da interação com outros organismos vivos, padrões no espaço também podem ser reconhecidos.

Em 1993 Ulrich propôs que pelo menos três respostas positivas adaptativas estariam relacionadas à observação e contato com paisagens naturais que não apresentavam situação perigosas, sendo essas relacionadas à atratividade do cenário, às possibilidades regenerativas e de relaxamento do ambiente e ao aumento de performance cognitiva quando não se está executando uma tarefa urgente. No relatório da *Terrapin Bright Green* de 2014 quatorze padrões biofílicos estão divididos para serem aplicados em projetos nessas mesmas três categorias, que serão melhor discutidas no tópico 1.2.1

Dessa maneira a biofilia oferece um motivo a mais para a preservação do meio ambiente, tendo em vista que o nosso afastamento em relação ao ambiente natural pode afetar diretamente as nossas necessidades biológicas e cognitivas. A biofilia, apresentando a profunda

conexão que temos com a natureza, reforça o ethos da biomimética, a natureza não somente é uma grande possibilidade de aprendizado, mas uma parte indispensável da persistência saudável do homem na terra.

1.2.1 Biofilia e Prática de Projeto

A prática de projeto em biofilia tem uma manifestação mais presente no design de interiores, na arquitetura e na composição de espaços no geral, nos quais se busca replicar padrões naturais para se obter resultados como relaxamento, aceleração de tratamentos, aumento da concentração, aumento da criatividade, sensação de segurança e outros, baseado na relação entre biologia humana, natureza e projetos de design.

Buscando facilitar a prática da biofilia como projeto pesquisadores e projetistas delimitaram quatorze padrões para a replicação, estes padrões estão divididos em três áreas principais: a presença da natureza no espaço, análogos à natureza e a natureza do espaço.

A presença da natureza no espaço faz referência à presença física de elementos naturais no espaço, como plantas, água e animais ou elementos que fazem uma referência direta ao elemento natural, como fotografias, padrões térmicos e luminosos, correntes de ar, sons, cheiros e outros elementos naturais (TERRAPIN BRIGHT GREEN, 2014). Dentro deste grupo existem sete padrões:

1. Conexões visuais com a natureza: faz referência direta e visual a elementos da natureza (como a vista para um jardim), sistemas vivos (como um aquário onde diversos organismos interagem) ou processos naturais (como observar por uma janela a variação de luminosidade durante o dia, a formação de nuvens de chuva e a mudança das estações ao longo do ano).
2. Conexões não visuais com a natureza: se apresenta como o uso deliberado de sensações não visuais (auditivas, táteis, gustativas, olfativas...) Para criar uma correlação com seres e sistemas vivos, assim como processos naturais, como
3. Estímulos sensoriais não rítmicos: se apresenta como conexões naturais aleatórias e efêmeras, o uso desse padrão pode ser analisado estatisticamente, porém com resultados é de difícil predizibilidade.
4. Variação térmica de passagem de ar: faz referência à imitação da variação natural de correntes de ar, temperatura e umidade, também inclui a escolha de superfícies com comportamento térmico similar ao natural.
5. Presença de água: Foco na melhora da experiência dentro do espaço a partir da imagem e sons aquáticos, podendo se estender com ao contato tátil com

a água.

6. Luz dinâmica e difusa: faz referência à escolha de ambientes luminosos similares aos naturais, incluindo a variação dinâmica de luz ao longo do dia.

7. Conexão com sistemas naturais: apresenta a consciência sobre as variações naturais, sazonais e temporais relacionadas com um ambiente saudável.

Os padrões análogos aos naturais estão relacionados sobretudo a evocações indiretas da natureza, incluindo objetos, materiais, cores, formas, sequências e padronagens encontrados na natureza. Se manifesta na forma de arte, ornamentação, mobiliário e têxteis (TERRAPIN BRIGHT GREEN, 2014).

8. Desenhos e padrões biomórficos: apresenta referências simbólicas a contornos, padronagens, texturas e composições numéricas encontradas na natureza.

9. Conexão do material com a natureza: se refere ao uso de materiais e elementos que fazem uma referência clara a uma localidade natural, normalmente com baixo nível de processamento para permitir identificação do material.

10. Ordem e complexidade: faz referência a composições ricas em informação visual, seguindo uma hierarquia similar às encontradas em composições naturais.

Os padrões da natureza do espaço estão relacionados às configurações do espaço na natureza, incluindo a tendência humana inata e aprendida de se movimentar e descobrir mais sobre nossas imediações, explorando a fascinação humana com o perigoso, o desconhecido, a relação entre o escondido e a descoberta e até mesmo a indução de fobias dentro de um elemento controlado e com um elemento de segurança. Esses padrões são intensificados por meio da criação de experiências deliberadas, sobretudo se concomitante a padrões dos outros grupos (TERRAPIN BRIGHT GREEN, 2014).

11. Prospecção: se refere a espaços que apresentam uma visão desimpedida e de longa distância, permite observação geral das imediações e planejamento das ações.

12. Abrigo: faz referência a uma localidade onde é possível se abrigar das intemperes naturais e também do fluxo principal de pessoas no ambiente, o local deve evitar aberturas no teto e nas paredes para além do necessário para entrada e saída.

13. Mistério: apresenta mecanismos que convidam à exploração do ambiente, prometendo mais informações sobre o espaço, recursos comuns in-

cluem vistas parcialmente encobertas e outras construções sensoriais para criar curiosidade.

14. Perigo: funciona a partir da apresentação de algo perigoso ou que provoca medo conjuntamente com uma garantia de segurança.

Os padrões de 1 a 6 e o padrão 11 estão relacionados com a restauração cognitiva, incluindo redução do estresse, melhora da pressão sanguínea, relaxamento e conforto. Os padrões de 1 a 5, 9, 11 e 12 estão relacionados com o aumento da produtividade cognitivas, incluindo aumento da produção, concentração, criatividade e diminuição da fadiga e tédio. Por sua vez os padrões 1, 2, 4, 5, 7 a 11, 13 e 14 estão relacionados a preferência visual e emoção, incluindo melhora do humor, felicidade no geral, prazer no espaço (sobretudo visual) e aumento da sensação de conforto. (TERRAPIN BRIGHT GREEN, 2014).

Dentro do escopo deste projeto a biofilia se apresenta como complementar a biomimética, reforçando o seu ethos e trazendo como a nossa relação sensorial com a natureza pode ser benéfica para o indivíduo, não somente como uma maneira de produzir inovação em projetos, pensando assim como o projeto pode ter impacto positivo para as pessoas que utilizam o espaço.

1.3 FABRICAÇÃO DIGITAL

A fabricação digital é uma possibilidade de produção e desenvolvimento de projetos de design que tem se popularizado e se tornado cada vez mais acessível na última década, como uma tecnologia emergente ela ainda não está consolidada no máximo de seu potencial, entretanto já traz novas possibilidades para o design no que diz respeito à escala de produção, alto nível de customização e mudança nos métodos de desenvolvimento de produtos, acrescentando novas ferramentas eletrônicas e digitais ao arsenal do designer de produtos.

Entende-se por fabricação digital o conjunto de processos de manufatura, sejam eles aditivos, subtrativos ou conformativos, gerados a partir de um modelo virtual feito em computador (Computer Aided Design – CAD – ou Desenho Assistido por Computador), no qual estão contidos os parâmetros pertinentes à sua produção ou materialização assistida por computador (Computer Aided Manufacturing – CAM – ou Manufatura Assistida por Computador). (FONSECA DE CAMPOS, 2018).

A fabricação digital em centros urbanos que dispõem de espaços como FABLABs permite a designers locais o desenvolvimento de projetos com diversos níveis de complexidade de maneira mais rápida, barata e eficiente do que se conseguiria com um aparato industrial tra-

dicional, o custo para a produção em pequena quantidade é significativamente reduzido na fabricação digital quando comparado com a fabricação em série tradicional.

O uso de tecnologias subtrativas e aditivas em pequena escala a partir de modelos 3d também traz uma lógica de fabricação em que o designer está mais próximo do controle e execução da fabricação, diminuindo o número de intermediários e podendo traduzir imediatamente um resultado projetual visual 3d em um objeto físico. Materiais atualmente possíveis de serem utilizados em impressão 3d incluem plásticos (ABS e PLA são os mais comuns em modelos acessíveis), resinas, borrachas, vidro, metal, cerâmicos e concreto (ATTARAN, 2017 *apud* BOGUE, 2013), entretanto, a maior parte dos materiais não plásticos não estão acessíveis para o produtor em pequena escala.

Na descrição de quais equipamentos fazem parte do arsenal de um Fab Lab existe uma grande diversidade que vão desde os mais comuns como impressoras 3d, cortadoras a laser e máquinas CNC até opções como braços mecânicos ou opções mais artesanais como equipamento de marcenaria.

Limitações da fabricação digital, em seu formato mais acessível para a comunidade local, estão principalmente na qualidade de acabamento conseguida por algumas máquinas de nível mais básico, a dificuldade de se produzir em larga escala e os materiais disponíveis. A fabricação digital também já está presente para a indústria de larga escala, sendo processos aditivos em metal e máquinas CNC de cinco eixos opções potentes para a criação de peças em alto nível de detalhe.

A impressão 3d é defendida por Kennedy (2015) como um processo promissor para o desenvolvimento de projetos de biomimética, por trabalhar em um processo aditivo similar ao que ocorre na natureza, sendo muito mais econômica em recursos do que processos tradicionais de usinagem, entretanto a maior parte dos materiais utilizados em impressão 3d são materiais comuns da indústria, o que afasta o processo de ser verdadeiramente ecológico.

Mohsen Attaran (2017) fala sobre um crescimento intenso da tecnologia de impressão 3D nos últimos 9 anos, apesar da tecnologia já existir há 30 anos. Vantagens, tendências e possibilidades para o futuro na indústria apontadas por Attaran incluem a redução dos preços de impressão e aumento da acessibilidade à máquinas, tem o potencial de simplificar cadeias de produção (possivelmente reduzindo drasticamente o gasto com transporte e montagem), a possibilidade de que os consumidores possam eventualmente criar (ou pelo menos produzir e consertar) os seus próprios produtos, a possibilidade de se produzir sob demanda e com alto nível de customização (evitando desperdício e estoques desnecessários) e otimização da produção de maneira geral, incluindo a produção de peças complexas em pouco tempo e diminuição dos custos com pessoal e maquinário.

Desafios incluem diminuir o espaço entre as impressoras acessíveis, mas que possuem um nível de qualidade focado na prototipação e impressoras de qualidade final, mas com preços inacessíveis para o pequeno produtor, outro desafio é a velocidade de impressão, que

é vantajosa para produções pequenas e individuais mas ainda muito lenta para produção em larga escala, também dificultando a produção de peças em grandes tamanhos, sobretudo levando em consideração que atualmente as impressoras são limitadas pelo seu próprio tamanho, por vezes necessitando de a impressão seja dividida em partes, que precisam ser coladas, diminuindo assim a conveniência do processo.

O movimento *maker* e os seus espaços são bastante otimistas e alinhados em relação às possibilidades das tecnologias de fabricação digital, sendo que *makerspaces* têm crescido em grande quantidade na última década.

Segundo a organização mundial de FABLABs a fablabs.io já existem 1313 laboratórios desse tipo ao redor do mundo, dentre estes 52 estão no Brasil. Eles definem FABLABs como uma rede de colaboração global, incluindo plataformas técnicas de prototipação para a invenção e inovação, promovendo estímulo para o empreendedorismo local, sendo também uma rede para aprendizado e inovação: um local para brincar, criar, aprender, ensinar e inventar.

Acredita-se dentro do movimento *maker* inclusive que essas máquinas e sua intensa conexão digital possam permitir aos usuários possibilidades de independência em relação à produção industrial, já que os usuários teriam a possibilidade de produzir os produtos que desejassem a partir das próprias fábricas domésticas, isso faz parte da crença de que estamos no processo de chegarmos à terceira revolução industrial, onde a colaboração e a produção horizontal e dispersa se tornariam o padrão para a produção mundial (contrariamente ao modelo atual no qual a centralização da produção e distribuição são a norma). Mudanças que estariam envolvidas na terceira revolução industrial, para além da fabricação digital, seriam o uso de energias renováveis, coletadas de fontes de baixo custo e de maneira dispersa (eólica, solar, geotérmica e ondomotriz), a distribuição dessa energia de maneira descentralizada por uma rede similar a internet e uma generalização da produção descentralizada, como evidenciado pela transformação que a comunicação sofreu na última década pela generalização das redes sociais e da internet. (RIFKIN, 2012)

Também se discute sobre a possibilidade de que exista uma democratização do capital em forma de máquina, já que apesar de essas máquinas ainda estarem em uma faixa de preço alta para o consumidor comum elas já são muito mais baratas do que as máquinas de escala industrial, assim como o seu custo de produção em pequena escala.

Entretanto é importante observar essas mudanças de maneira cautelosa, a expectativa de que a sociedade advinda da terceira revolução industrial se torne colaborativa e sustentável de maneira inevitável é pretensiosa, para que isso aconteça existe a necessidade de que a sociedade consiga tomar consciência da mudança que está ocorrendo para que ela possa moldar os resultados possíveis para o futuro. Além disso sistemas colaborativos e descentralizados não estão imunes a corrupção e manipulação centralizada por meio de algoritmos baseados no comportamento dos usuários nesses sistemas, como se pode observar o atual pro-

blema com a divulgação das informações em redes sociais (frequentemente usadas como exemplo de sucesso do processo de descentralização, em relação à distribuição de mídia, informação e publicidade), onde *fake news* intencionais, conjuntamente com o excesso de informação generalizado, são representativos de como ainda não temos todas as respostas para lidar com a resposta social que essas máquinas digitais proporcionam, e de como não temos certeza sobre quais resultados elas trarão.

O movimento maker também está associado com lógicas de produção livre como *hackers* (abertura do conhecimento científico e tecnológico) e com propostas de trabalho e desenvolvimento que são tidas como inovadoras, envolvendo metodologias ágeis e colaborativas como o *design thinking*, *design sprint*, *lean*, *scrum* e outros. A fabricação digital, por estar normalmente associada a modelos 3d permite o compartilhamento instantâneo da forma e especificidades de um produto, fazendo com que pessoas alinhadas com a ideologia de abertura do conhecimento possam estender essa lógica também para a fabricação, metodologias ágeis no desenvolvimento de produtos tem grande uso para fabricação digital por esta permitir uma prototipação rápida e sem intermediários, podendo acontecer dentro do próprio laboratório da empresa.

Falhas nesse pensamento que associa intrinsecamente a fabricação digital à abertura do conhecimento sobre a fabricação e à abertura da fabricação em si são apontadas por Fonseca de Campos (2018) que discute sobre como não existe uma garantia de que as pessoas que se interessam pela produção *maker* vão ser capazes de produzir produtos efetivos ou de que os produtos de alta qualidade serão abertos para a população. Também é apontada uma incongruência entre a ideia de que essas máquinas sejam a democratização da fabricação quando estas ainda apresentam barreiras técnicas e econômicas consideráveis para serem efetivamente usadas, apontando ainda que essa é uma tecnologia diretamente ligada à mesmas máquinas CNC que permitiram o alto nível de automatização encontrado em fábricas hoje, que favorecem o acúmulo de capital pelos donos das máquinas.

Práticas inovadoras e colaborativas de negócios têm promovido nos últimos anos uma mudança considerável na maneira como ocupamos e locomovemos nos espaços, resultados positivos têm sido vistos na maneira como serviços como a *Uber* e a *Airbnb* rapidamente se tornaram serviços presentes no mundo todo. Entretanto, já existem evidências de como esses serviços e similares podem promover empregos onde a companhia consegue escapar da maior parte das responsabilidades legais sobre os seus funcionários, cria hábitos tóxicos dentro de organizações, causa gentrificação ou simplesmente cria produtos com funcionalidades desnecessárias. “Não se pode excluir a possibilidade de que se termine em uma fabricação massiva de bibelôs” (FONSECA DE CAMPOS, 2018 *apud* BONSIEPE, 2015).

De maneira similar as possibilidades da fabricação digital doméstica e a abertura e democratização da fabricação provavelmente não vão resultar em uma utopia fabril onde todos tem acesso a toda sorte de produtos, tem capacidade técnica para desenvolver resultados

para suas próprias necessidades ou que existirá uma extensiva troca entre todos aqueles que produzem conteúdo.

A fabricação digital também está alinhada com a perspectiva da emergência dos mercados de nicho e da customização em massa tanto no nível local quanto no nível industrial, o fato de que os moldes e matrizes que costumavam ser físicos estão sendo substituídos por modelos digitais permite mudança a baixo custo dos resultados, especialmente se aquela peça ou produto está sendo criada dentro de um contexto de produção em baixa escala. Isso é um paralelo com a maneira que a impressão digital em papel tem viabilizado projetos gráficos em baixa escala e com alto nível de customização (entretanto mesmo com essa tecnologia estando disponível por muitos anos ainda existe uma preferência por processos como o *offset* e a rotogravura quando se fala de produção em grandes quantidades, e de processos como a serigrafia quando se trata de customização artística e impressão em tecidos, entretanto a impressão digital também já é uma realidade para a estamparia).

Dentro dos processos de trabalho do designer, a fabricação digital favorece uma dedicação maior ao aprendizado de tecnologias de modelagem 3d como meio para criação de produtos, programas como o *Solidworks*, *Rhinocerus* e *3DS Max* são utilizados extensivamente na indústria, para se aproximar do público *maker* programas como o Fusion 360 têm sido criados, com assinaturas gratuitas para a produção individual e para estudantes e com funcionalidades otimizadas para trabalhos colaborativos e com saída direta e facilitada para máquinas de fabricação digital encontradas em espaços *makers*. O desenvolvimento de programas que tem um enfoque para o público *maker* e o seu alto nível de adesão por amadores e profissionais mostra a evolução desse espaço no mercado.

O trabalho com softwares de CAD (*computer aided design*) tem se tornado mais integrado com a prototipação, um conjunto de máquinas básicas de fabricação digital permite iterar frequentemente novos produtos, afetando o processo metodológico, assim como as habilidades do designer, que não precisa mais saber modelar manualmente, caso não queira.

Para o designer que deseja fazer uso dessas máquinas para produção local abre-se uma nova possibilidade de produzir formas mais complexas que seriam difíceis de obter ou prototipar sem o aparato tradicional de uma indústria. Dentro da perspectiva de se desenvolver formas mais complexas a modelagem paramétrica por nódulos de programação em programas como o *Grasshopper* (*plugin* do *Rhinocerus*) permite que por meio de algoritmos se tenha um alto nível de controle das configurações da modelagem 3d, fazendo com que tarefas que envolvem alto nível de detalhe, repetição ou configurações geométricas muito complexas possam ser definidas com lógica de programação em vez de modelagem direta. Trabalhar com o desenvolvimento de produtos a partir da modelagem paramétrica subverte também outros processos da metodologia tradicional para o desenvolvimento de projetos de design, como por exemplo a não necessidade de se ter *sketches*, assim como o favorecimento ao desenvolvimento de outras habilidades não necessariamente tradicionais no currículo do de-

signer, como lógica de programação e conhecimentos mais extensivos de matemática.

A possibilidade de se trabalhar com alto nível de complexidade tanto de modelagem como de fabricação a um custo relativamente baixo permite ao designer que não está atrelado a uma grande indústria novas possibilidades de produção, trabalhar com a biomimética é uma delas. Formas e mecanismos naturais são normalmente complexos e desenvolvê-los de maneira manual envolveria um alto nível de técnica e uma consequente baixa replicabilidade e eficiência, iterar de maneira similar seria difícil. Isso é especialmente favorável no que diz respeito à reprodução de aspectos mais técnicos da biomimética, facilitando que designers consigam explorar para além da questão estética.

1.4 DESIGN DE SUPERFÍCIE

Renata Rubim (2005), responsável por introduzir o termo design de superfície no Brasil define essa área como: “O design de superfície abrange o Design Têxtil (em todas as especialidades), o de papéis (idem), o cerâmico, o de plásticos, de emborrachados, desenhos e/ou cores sobre utilitários (por exemplo, louça)”. A autora também acrescenta que a produção do design de superfície pode ser o projeto de uma superfície da maneira mais abrangente possível, incluindo desde a composição estrutural da superfície até a estampagem em uma superfície pré existente.

A autora também posiciona o design de superfície como uma área que resolve problemas sobretudo de ordem estética, se misturando com o que seria considerado arte, entretanto ainda atento às necessidades técnicas e mercadológicas da produção. Outra posição que ajuda a determinar o escopo do design de superfície é a de que esse possui aplicações em todos os setores da sociedade, com a estética adequada para cada situação, enquanto a posição artística está focada em um desenvolvimento mais pessoal, centrado na poética do artista.

Ada Schwartz, em outra perspectiva, apresenta o design de superfície da seguinte maneira:

Design de superfície é uma atividade projetual que atribui características perceptivas expressivas à superfície dos objetos, concretas ou virtuais, pela configuração de sua aparência, principalmente por meio de texturas visuais, táteis e relevos, com o objetivo de reforçar ou minimizar as interações sensorio cognitivas entre o objeto e o sujeito. Tais características devem estar relacionadas às estéticas, simbólicas e práticas (funcionais e estrutu-

rais) dos artefatos das quais fazem parte, podendo ser resultantes tanto da configuração dos objetos pré existentes em sua camada superficial quanto do desenvolvimento de novos objetos a partir da estruturação da superfície. (SCHWARTZ e col., 2008).

Dentro da abordagem de Schwartz o projeto da superfície pode ser tratado de três maneiras, a primeira destas consiste da perspectiva representacional, que é focada no desenvolvimento gráfico da superfície, neste caso a superfície em si é bidimensional, mas atinge a tridimensionalidade a partir do objeto que delimita. A maneira como o objeto é delimitado nessa abordagem também é apresentada de duas formas: a superfície-envoltório, que possui um caráter de revestimento ou modificação de uma superfície pré existente (criação de texturas, aplicação de entalhes, estamparia...). A outra posição é a da superfície-objeto, onde a criação da superfície é simultânea à criação do volume, e se concretizam juntos em produto, aqui a superfície tem um caráter estruturante e constituinte.

A segunda perspectiva na qual a superfície pode ser discutida é a constitucional, que enfatiza as propriedades materiais e físico-químicas da superfície, assim como os processos técnicos necessários para sua conformação.

Cada material oferece possibilidades plásticas e estruturais a serem trabalhadas por diferentes processos. Cada suporte – da maneira como se estrutura para compor ou gerar uma Superfície – fornece resultados formais diferentes, específicos de sua natureza e composição material. Por isso é necessário considerar a estruturação física e visual, bem como a constituição material, como definidoras, influenciadoras e limitadoras das possibilidades plásticas do projeto de uma Superfície. Desconsiderando-se isso, perde-se a relação estrutural-material-plástica no momento da projeção (SCHWARTZ e col., 2008).

Dentro dessa abordagem existe o foco de pensar na superfície na sua interação com o ambiente, por outro lado, a terceira abordagem, a relacional, expande a análise da superfície para relações de qualquer natureza. Aqui a superfície tem caráter de interface, ela é comunicativa e ela é autônoma, podendo assim ser o centro do projeto. A superfície mantém suas interações com o meio material para também se expandir para interagir informacionalmente com o sujeito.

A Superfície, ao funcionar como interface, acaba constituindo-se na primeira instância de mediação física e cognitiva das interações entre o sujeito e o objeto.[...] Assim sendo, pode-se, então, atribuir à superfície carac-

terísticas que estimulem ou não determinadas sensações e percepções relacionadas ao respectivo objeto, definindo-o e caracterizando-o em relação a um determinado contexto de interação com o sujeito. Atuando como interface, a Superfície estabelece uma relação interativa, biunívoca e simbiótica entre os dois meios, configurando sua forma, suas características físicas e seus significados pelo sujeito (SCHWARTZ e col., 2008).

A produção do design de superfície na perspectiva relacional se faz cada vez mais necessária pois os produtos possuem linguagem própria e constituem relações sujeito-objeto, Schwartz também defende que a superfície deve potencializar os aspectos sensitivos, psicológicos, cognitivos e antropológicos da superfície, favorecendo que ela promova a intenção esperada para com o sujeito.

Uma das técnicas principais do design de superfície é exercício de se compor em módulo (frequentemente utiliza-se o termo francês *rapport* para designar o módulo do design de superfície) para preencher superfícies contínuas. A criação do *rapport* está centrada em compor com elementos simples ou complexos um padrão que funcione não individualmente, mas como textura, tanto no encaixe das formas, como no espaço negativo e na composição de cores. A ideia do *rapport* pode ser expandida para a biomimética pensando em como pode-se criar uma emulação tridimensional de componentes vivos com funções específicas.

2 MÉTODO

As primeiras etapas do desenvolvimento do projeto foram dedicadas à exploração de possibilidades que pudessem ser desenvolvidas, primeiramente pensando em entregas de serviço que pudessem existir no espaço brasiliense, conjuntamente a essa exploração desenvolveu-se uma pesquisa teórica que influenciou diretamente no desenvolvimento do projeto. Algumas das possibilidades de serviços que foram brevemente estudados no início do projeto incluíram serviços de alimentação, casas de banho e criação de coleção de objetos.

A questão da sustentabilidade, a discussão em cima de elementos naturais e a possibilidade de se explorar novas visões dentro de projetos de design sempre estavam presentes na busca por determinar o escopo do projeto, esses interesses levaram o projeto a chegar na biomimética e na biofilia, que mudaram a posição do projeto, fazendo com que a ideia de montar um serviço ficasse de lado.

A biofilia serviu ao projeto sobretudo como forma de inspiração, validação do desenvolvimento e das ideias propostas no projeto, a biomimética, por sua vez, teve um impacto maior no método do projeto em si. A posição atual da metodologia da biomimética, ou *biomimicry thinking*, como apresentando por Baumeinster e Benyus, é de não fornecer etapas rígidas de desenvolvimento de projeto, mas fornecer ferramentas, princípios, modos de avaliação e perspectivas para um projeto.

Dentro de perspectivas de desenvolvimento de um projeto propostas pelas biomimética existem duas linhas principais, chamadas *biomimicry spirals* (Baumeinster et al. 2014 p. 141), sendo o mais próximo apresentado de etapas de um método, idealmente para serem incorporadas em outros métodos de projeto. A primeira sendo do design para a biologia, o que significaria a determinação de um problema ou desafio de design e assim procurar exemplos e soluções na biomimética que possam ser destilados e replicados em um projeto de design, idealmente se atentando aos princípios da vida e à ética da biomimética.

A segunda perspectiva, da biologia para o design, segue a ideia de buscar na natureza (com pesquisa em campo, em laboratórios de biologia, em bases de dados de soluções naturais e em artigos acadêmicos) informações que possam ser exploradas e desenvolvidas em projetos de design, arquitetura, medicina ou qualquer outra área do conhecimento. Cada uma dessas *biomimicry spirals* se apresentam como diagramas, que demonstram visualmente o funcionamento dessas perspectivas.

A perspectiva seguida neste projeto foi a da biologia para o design, que propõe a sequência: descoberta, abstração, identificação da função, definição do contexto, ideação (*brainstorming*), integração dos princípios da vida, emulação do design e avaliação segundo os princípios da vida.

Inicialmente esse projeto também possuía a intenção de ser um projeto de dupla habilitação em design, contendo as partes de programação visual e projeto de produto, ambas nor-

teadas pela biomimética, biofilia e design de superfície, no meio do projeto foi tomada a decisão de se dividir o projeto em dois separados, contudo mantendo as bases teóricas iniciais. Sendo assim a pesquisa na biomimética foi direcionada para a possibilidade de desenvolver uma superfície inspirada em soluções naturais.

2.1 PROCESSO PELA BIOMIMÉTICA

O início da pesquisa voltada para a biomimética envolveu saídas de campo para parques próximos da cidade, entretanto as saídas não geraram resultados positivos para o desenvolvimento de superfícies 3D, somente para ideias 2D (mais apropriadas ao projeto de programação visual) principalmente pelo fato de que os mecanismos e funcionalidades biológicas de maneira geral estão restritos a cientistas dessa área e procurar experimentações laboratoriais seria muito custoso e sem garantia de retorno para um projeto de design.

Dentro das recomendações de suporte de conteúdo para a biomimética oferecida pelo *Biomimicry Institute* 3.8, existe um banco de dados de soluções naturais organizadas por função, organismo, desafio e outros (além de exemplos de projetos), a *asknature.org*, essa base de dados é voltada sobretudo para projetistas buscando por informações biológicas, incluindo artigos, resumos, exemplos de projeto e diversos modos de pesquisa e categorização.

Nas pesquisas dentro da *asknature.org* e procurando matérias relevantes na revista *Zygote Quarterly* cheguei a um *deep principle* sobre níveis estruturais hierárquicos, ou seja, a maneira como a solução de se ter vários componentes formando o todo – muitas vezes indo de níveis inferiores ao microscópio até se chegar na escala do metro – faz com que materiais frágeis ou comuns possam ser muito resistentes, elásticos, capazes de comportar o crescimento do organismo e muitas vezes até mesmo viabilizar a alimentação do organismo em específico.

A composição estrutural hierárquica em alguns casos também promove padrões visuais específicos e que estão alinhados com as perspectivas estéticas da biofilia, sobretudo em relação aos padrões análogos à natureza (complexidade e ordem, conexão material e formas análogas). Outro fator interessante sobre esse *deep principle* é o fato de não somente ele aparece diversas vezes em elementos naturais (fios de cabelo, teias de aranhas, esponjas, estruturas vegetais...) Como também já é um princípio utilizado na construção humana, validado tanto estruturalmente como esteticamente, por exemplo, na Torre Eiffel.

Com base nisso pesquisou-se superficialmente algumas estruturas como a teia de aranha e o tronco do bambu, que aparecem como exemplo de estruturas que na natureza partem de materiais frágeis e que por meio de compósitos e de sua organização em diversos níveis conseguem ser extremamente resistentes e mantendo outras características interessantes como a flexibilidade, fácil conserto e estabilização em condições normais de temperatura e pressão

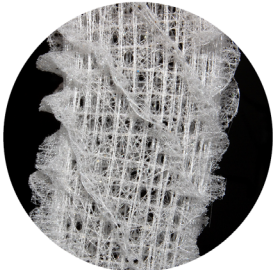
(utilizando-se de estratégias como a organização do material, entrelaçamento de fibras, uso de materiais ligantes e também a organização macro das estruturas visíveis). Entretanto julgou-se que as estratégias desses organismos estavam muito atrelados a um nível de refinamento e escala microscópica que não seriam possíveis de serem explorados nesse projeto.

Decidiu-se que o trabalho seria feito em cima da estrutura do esqueleto da esponja *Euplectella aspergillum*, devidos às suas propriedades estruturais, estéticas e devido ao fato de suas estratégias na composição da superfície se manifestam não somente em nível microscópico, mas também apresentando diversos níveis macroscópicos, mais fáceis de serem reproduzidos e explorados.

A espécie *Euplectella aspergillum*, pertencente à Hexactinellida (família de esponjas conhecidas como esponjas de vidro ou *venus flower basket*), possui um esqueleto baseado em sílica, construído em diferentes níveis de hierarquia que variam de estruturas nanométricas a estruturas centimétricas, a composição estrutural dessa esponja foi adotada como inspiração principal para a superfície 3D a ser desenvolvida. No artigo “*Hierarchical assembly of the siliceous skeletal lattice of the hexactinellid sponge Euplectella aspergillum*” os autores Weaver et al. descrevem em detalhes a estruturação dessa organização hierárquica da esponja, em seis níveis hierárquicos: componentes orgânicos e inorgânicos (nm), a composição do material compósito orgânico-inorgânico (μm) - esses dois níveis hierárquicos não foram utilizados como base para o desenvolvimento do projeto - a constituição das espículas do esqueleto (mm), a rede de conexão dessas espículas (mm), as paredes do esqueleto geradas por essa rede (cm) e por fim o esqueleto em si (m).

Essa pesquisa centrada na base de dados constituiu a fase de descoberta do projeto, que resultou na seguinte síntese:

FIGURA 1 - RESULTADO SÍNTESE DA FASE DE DESCOBERTA

	Mecanismo
	<p>Apesar de serem feitas de sílica, as esponjas <i>Euplectella aspergillum</i> são muito resilientes, resistindo a todo tipo de forças aquáticas, sejam essas superiores ou laterais, isso se deve aos seus diferentes níveis de hierarquia, que vão desde a escala nanométrica, na criação do material compósito que forma suas espículas, passando pela formação da espícula em diferentes arranjos, a combinação entre esses diferentes arranjos de espículas até estruturas helicoidais que previnem a ovalização e torção da esponja. A organização descentralizada e redundante da estrutura da esponja parece ser essencial para sua resistência. Além disso o seu formato a permite viver em mutualismo com um par camarões que habita e se reproduz em seu interior, o que é possível devido sua natureza vazada.</p>
Função	Estratégia
Resiliência a forças em diversas direções, filtro	Vários níveis de hierarquia e composição na estrutura permitem resiliência e permeabilidade seletiva, apesar do material.
Princípio de Design	
Hierarquia, descentralização e redundância permitem estruturas vazadas e resistentes, apesar do material.	

Fonte: o autor

Com base nos resultados da fase de descoberta a etapa seguinte foi pensar em como se daria a exploração dos níveis de hierarquia estudados, assim como seria a maneira de traduzir isso para um projeto de design de superfície. A estratégia da esponja, em termos não biológicos, a ser explorada foi: “Hierarquia, descentralização e redundância permitem estruturas vazadas e resistentes, apesar do material.”

Refletindo sobre questões relacionadas aos *Life's Principles* pensou-se em criar não um produto finalizado e pronto para ser comercializado, mas sim um sistema (ou uma ferramenta), que fosse flexível para uma diversidade de formas e situações, pudesse ser utilizado em outros projetos por outros designers, evoluir e ser refinado por essas pessoas (e assim se adaptar a novos contextos) e estar contextualizado no ambiente contemporâneo de troca de informações, e assim incluindo nessa criação a replicação do mecanismo da esponja.

A ferramenta escolhida para o desenvolvimento do projeto foi o *plugin Grasshopper* (GH), do Rhinoceros 3D, na qual não se possuía experiência prévia e foi estudada para este projeto. O GH é um software de modelagem 3D por programação visual, ou por nódulos, as vantagens para esse projeto, e o motivo pelo qual esse programa foi escolhido, consiste do fato que a modelagem por programação permite alterações e variações em tempo real de acordo com a necessidade. O foco se tornou então utilizar o GH para criar um código que pudesse ser alimentado de maneira simples e controlado em pontos chave para aplicar uma síntese dos princípios estruturais e qualidades estéticas da esponja *Euplectella aspergillum* de maneira que diversas superfícies pudessem receber o código. O resultado esperado se tornou algo similar a uma “ferramenta de aplicação da estrutura da *Euplectella*”.

2.1.1 Desenvolvimento com o *Grasshopper*

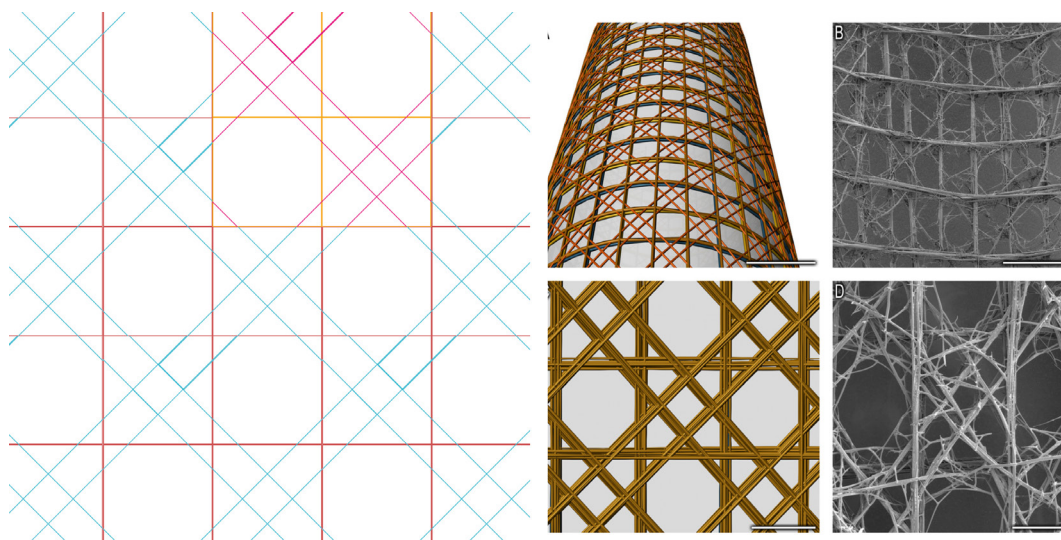
O método de criação dentro do GH o refino de uma única alternativa com múltiplas iterações ao longo do processo, fazendo um acompanhamento técnico em relação aos dados fornecidos pelo artigo de Weaver et al. (2007), no escopo da geração desse trabalho três níveis hierárquicos foram explorados: a grade de espículas em forma de cruz, a malha de linhas horizontais, verticais e diagonais e a malha interna de conexões difusas.

O primeiro componente estrutural a ser desenvolvido foi a malha de linhas horizontais, verticais e diagonais, que se divide em duas formações, a primeira que consiste da composição com hastes verticais e horizontais, bastante uniformes, e a segunda que é composta por hastes diagonais, mais desordenadas. Essa relação entre hastes não forma células todas iguais ao longo do padrão, e sim cria um padrão xadrez entre células mais abertas e mais fechadas.

Para se conseguir entender como deveria ser o módulo criado no GH utilizou-se de téc-

nicas de *rapport* advindas da estampa, buscando conseguir um módulo que pudesse ser contido dentro de um quadrado e encaixado em qualquer direção mantendo o padrão xadrez das células (Figura 2). Para permitir a aplicação diversa e flexível o código da padronagem trabalha com unidades genéricas, se adaptando à configuração do documento.

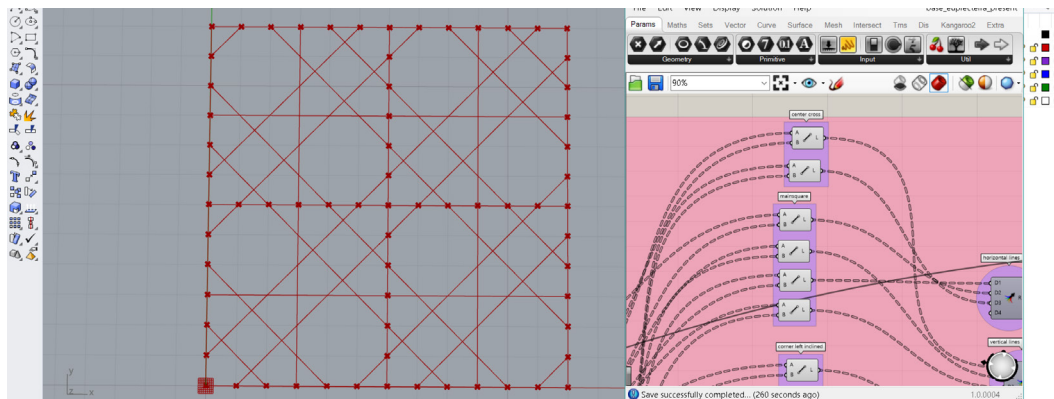
FIGURA 2 - COMPARAÇÃO ENTRE MÓDULO VETORIAL, IMAGENS DE MICROSCOPIA ELETRÔNICA E REPRESENTAÇÕES GRÁFICAS



Fonte: o Autor (à esquerda) e Weaver et al. (2007) (à direita).

O módulo vetorial desenvolvido, no entanto, foi criado no programa *Adobe Illustrator* e precisava ser passado para o *GH* de maneira incorporada ao código, para que os elementos pudessem criar uma padronagem dinâmica e editável. Para a criação da padronagem base utilizou-se um componente pronto que estabelece grades de acordo com o tamanho de célula, número de células na coluna y e número de células na coluna x. A solução encontrada foi criar uma divisão de 24 pontos por módulo da grade, de maneira a criar uma lista de onde todos os pontos necessários pudessem ser extraídos e combinados em linhas que criassem a padronagem. Na figura 3 se observa na interface do Rhino, à esquerda, a visualização do resultado do código, mostrando quatro módulos de 24 pontos cada, assim como as linhas que estão conectadas a partir desses pontos e na do *GH*, à direita, o detalhe de componentes de linha, sendo alimentados por componentes de ponto e fornecendo dados para os próximos componentes.

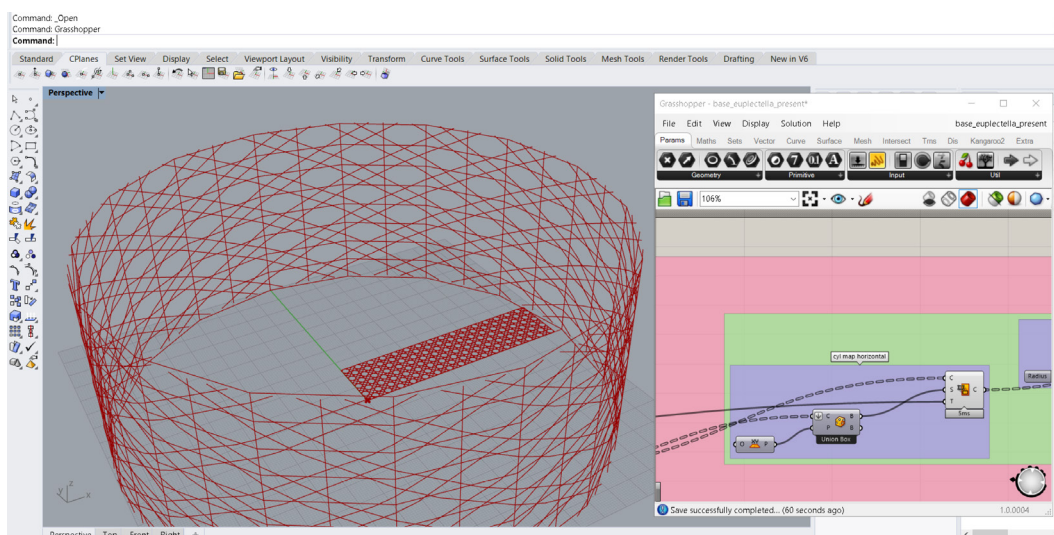
FIGURA 3- INTERFACE R-G (RHINOCEROS 3D E GH), MÓDULO DE 24 PONTOS



Fonte: o autor

Após a concretização desse nível hierárquico no ambiente 2D se fez necessário construir no código a manifestação 3D desse padrão, tanto seguindo a forma 3D de uma superfície, quanto obtendo espessura. Para a criação da ação da superfície no espaço 3D utilizou-se a técnica de mapear uma “caixa” que contivesse a padronagem, e assim mapear essa “caixa” na superfície desejada, o processo criativo ao longo do projeto foi todo realizado fazendo o mapeamento em um cilindro.

FIGURA 4 - INTERFACE R-G, PADRONAGEM 1 MAPEADA EM CILINDRO

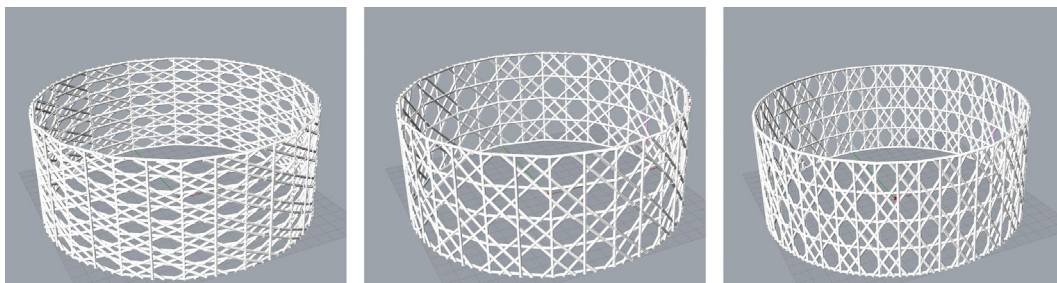


Fonte: o autor

Na imagem acima se observa na interface do Rhino tanto a padronagem 2D quanto a mapeada, na interface do GH se observa o mapeamento das linhas horizontais, por motivos de organização e liberdade de manipulação específica cada modo de linha foi mapeado sepa-

radamente. Após esse processo foi adicionada a espessura à padronagem mapeada, também se testou a funcionalidade do dinamismo da padronagem.

FIGURA 5 - APLICAÇÃO DE ESPESSURA E PADRONAGEM DINÂMICA

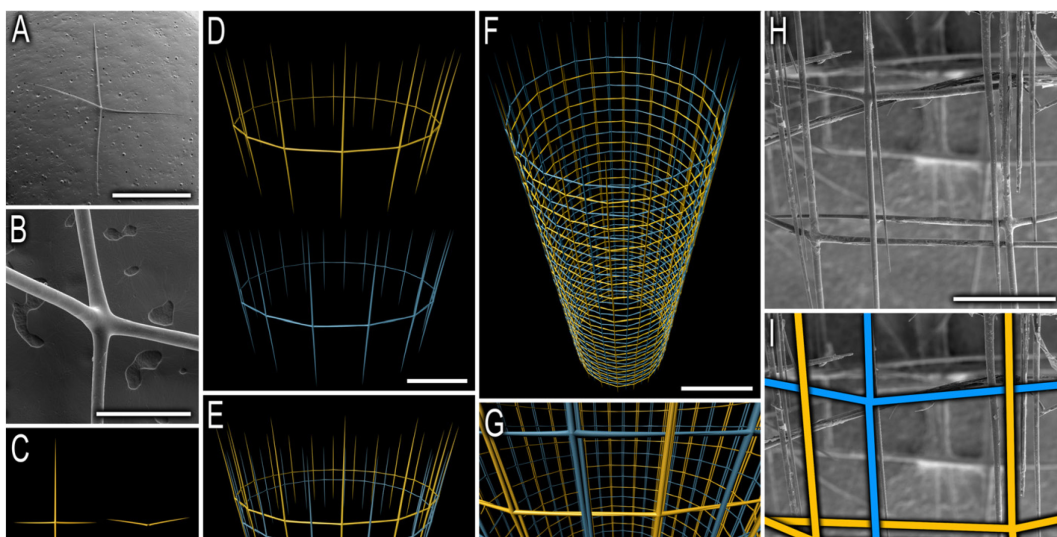


Fonte: o autor

Na imagem acima se observa a variação da padronagem, dinamicamente controlável devido à estrutura do código, na segunda imagem se observa uma diminuição da quantidade de módulos no eixo y e na terceira imagem um aumento da quantidade de módulos no eixo x. Dessa maneira a primeira etapa da superfície foi considerada pronta.

A segunda etapa desenvolvida foi a das espículas em forma de cruz, esta etapa também se subdividiu em duas, tendo em vista que na esponja ocorre um cruzamento de duas redes de espículas, que assim foram configuradas separadamente. O padrão de espículas de cruz se desenvolve na esponja como inúmeras espículas individuais que se alinham verticalmente e se sobrepõem horizontalmente, com os “braços” de cada espícula avançando em um ângulo de 20° para o interior da esponja. (WEAVER et al. 2007, p. 98-100)

FIGURA 6 - PADRÃO DE ESPÍCULAS, *EUPLECTELLA ASPERGILLUM*.



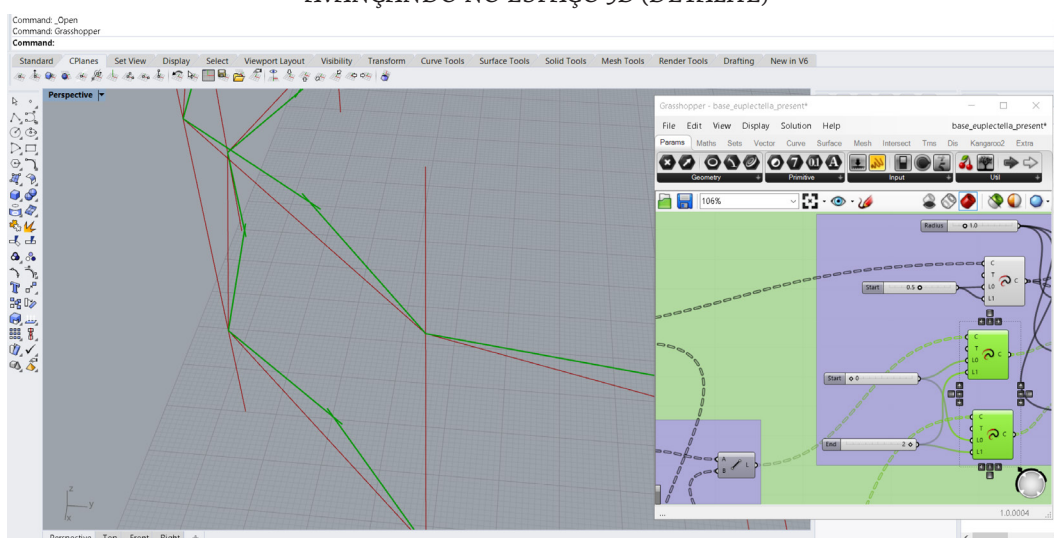
Fonte: Weaver et al. (2007, p.99)

Se observa na imagem de Weaver et al. como se compõe o sistema de espículas, sendo a espícula individual visível em A, B e C as redes de espículas separadas em D e o entrelaçamento em E, F, G, H e I.

Julgou-se que criar um sistema de espículas individuais seria muito complexo, e geraria problemas de imprecisão e excesso de dados no código. Então a técnica desenvolvida para esse arranjo foi similar a anterior, no entanto com duas peculiaridades, a primeira sendo que as espículas em forma de cruz fazem um avanço tridimensional para a parte interna da estrutura, contrariamente ao padrão anterior, que está limitado ao espaço 2d. A segunda peculiaridade é a que apesar do fato que ambos os padrões deveriam funcionar a partir de um único controle eles seguem escalas distintas, para resolver o segundo problema criou-se um sistema simples de multiplicações no início do código, fazendo com que a parte do código já apresentada sempre possua duas vezes a quantidade de células da segunda parte, e que esta sempre possua o dobro do tamanho no módulo.

Na resolução da outra peculiaridade primeiro se dividiu o *grid* padrão em oito partes por célula e depois este foi reconstruído, para se conseguir a independência de controle das linhas, em seguida se fez o mapeamento do novo *grid* na superfície do cilindro. Com base nas linhas horizontais mapeadas no cilindro se criou linhas em *offset* (deslocamento com cópia com base em uma geometria preexistente) para dentro do cilindro, e assim utilizou-se o centro dessas novas linhas como base para fazer uma conexão com as extremidades das linhas originais, criando assim o padrão de cruz tridimensional. Por fim criou-se pequenas extensões nas linhas para que estas se cruzassem.

FIGURA 7 - INTERFACE R-G, LINHAS DO PADRÃO DE CRUZ
AVANÇANDO NO ESPAÇO 3D (DETALHE)

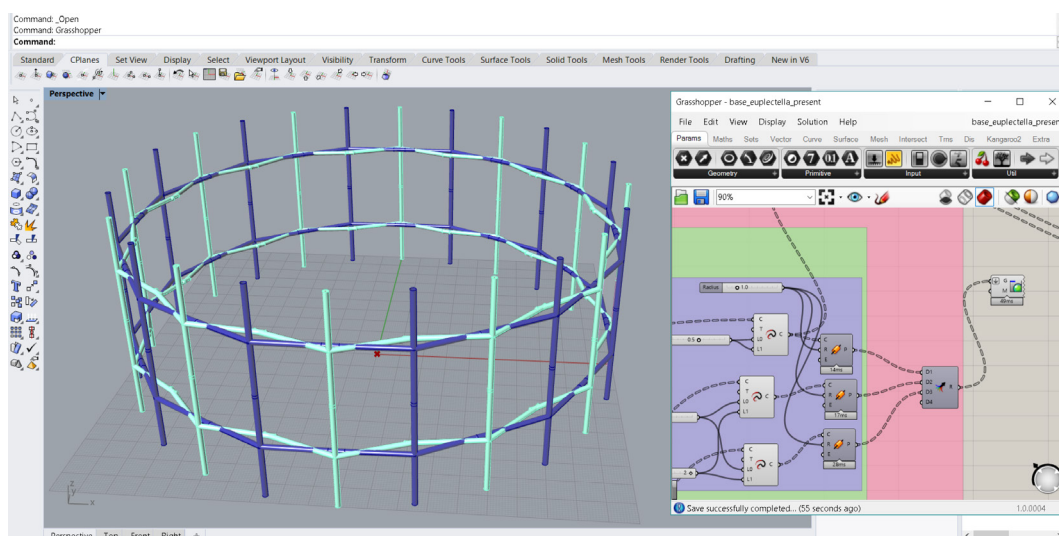


Fonte: o autor

Observa-se na imagem acima a relação entre o *grid* mapeado e a extensão para dentro

da estrutura, assim como o cruzamento das linhas ao centro. Após a criação desse primeiro conjunto de espículas se criou o segundo conjunto, que é igual ao primeiro, contudo intercalado. A técnica foi a mesma da solução anterior, mas utilizando-se de um conjunto de linhas a partir do *grid* deslocado em relação ao original. Após a criação do segundo conjunto de linhas adicionou-se espessuras usando a ferramenta de cano com base em caminho, tal qual na primeira fase.

FIGURA 8 - CRUZAMENTO DAS TRAMAS DE ESPÍCULAS.



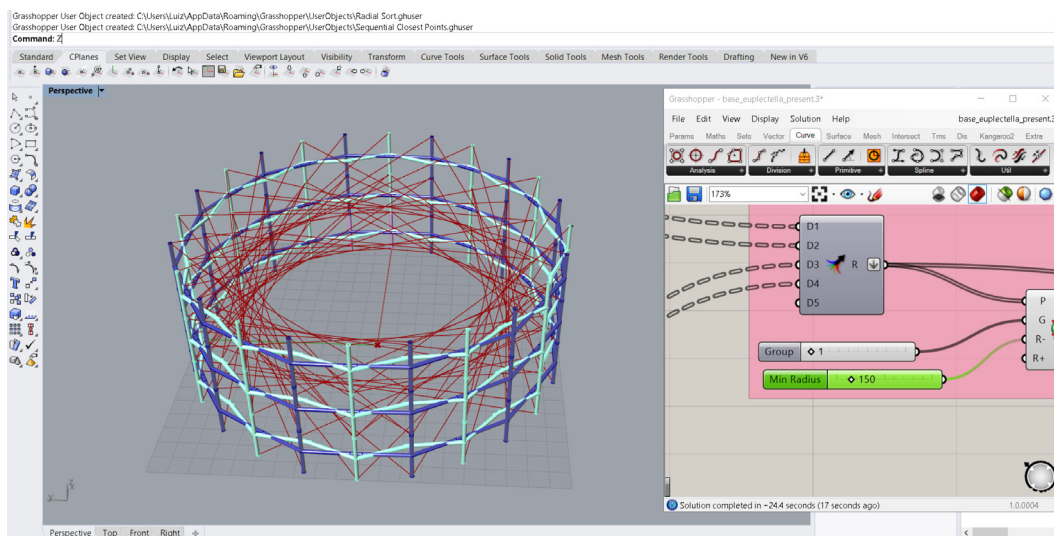
Fonte: o autor

O terceiro e final nível de hierarquia desenvolvido neste projeto foi o sistema, aparentemente desordenado, de veios que podem preencher o interior da esponja, esse sistema de veios está presente em todas as esponjas no fechamento da parte superior, contudo também pode se apresentar com menos frequência no interior das esponjas, sobretudo na parte inferior, próximo à ancoragem desses organismos. O fechamento superior, bem desenvolvido, fornece à esponja fortalecimento estrutural, evitando colapso da região superior, também fortalecendo a integração do sistema. Acredita-se que o desenvolvimento da parte inferior também tenha consequências positivas para a estrutura da esponja, mas sua função exata e o nível de sua influência permanecem imprecisos, sobretudo devido ao fato dessa não ser uma característica presente na maior parte das esponjas (WEAVER et al. 2007, p. 101-3).

O desafio para o desenvolvimento desta parte esteve principalmente relacionado com o fato de que todas as alterações necessárias aconteciam relacionadas diretamente à manipulação da padronagem original. Contudo agora seria necessário manipular o espaço interior ao cilindro, mas ainda a partir de dados fornecidos pela padronagem, caso contrário não seria possível que o código fosse alimentado com superfícies externas e ainda gerasse essas estruturas de maneira dinâmica.

A solução encontrada consistiu da seguinte sequência de técnicas: extração dos pontos finais e iniciais de todos os caminhos do padrão, mescla de todos esses pontos em um único conjunto de dados e o uso de um componente que procura conexões entre pontos de uma mesma fonte de dados, a partir de três restrições: o número de conexões que cada ponto deve procurar, o raio esférico mínimo a ser procurado e o raio máximo a ser procurado.

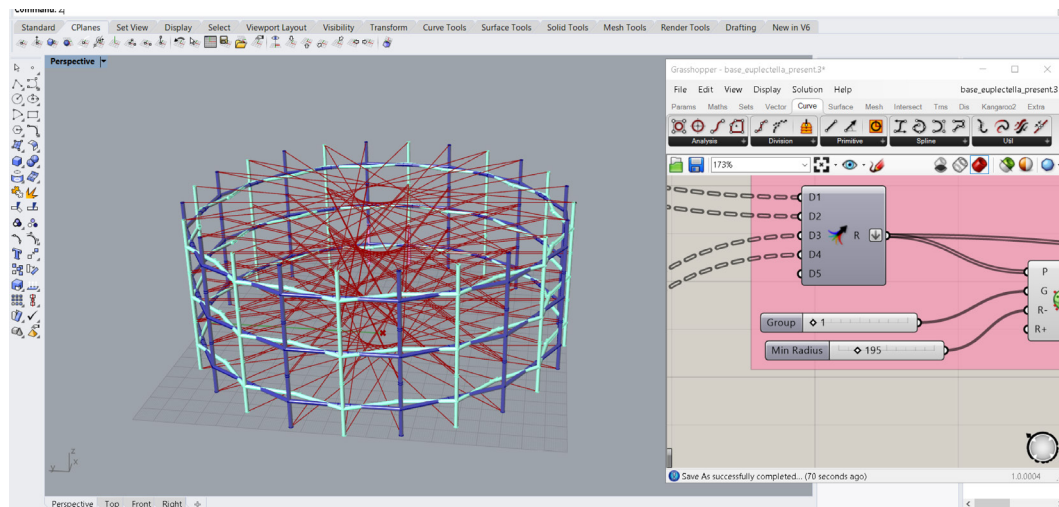
FIGURA 9 - CONEXÃO POR PROXIMIDADE TRIDIMENSIONAL 1



Fonte: o autor

Na imagem acima se observa as conexões criada por todos os pontos finais e iniciais dos caminhos da padronagem, cada ponto fazendo uma única conexão, com um raio de 150 unidades genéricas no mínimo, o raio máximo não foi restrito. A manipulação dessas conexões pode ser feita com o objetivo de aumentar ou diminuir o preenchimento do espaço interno do cilindro.

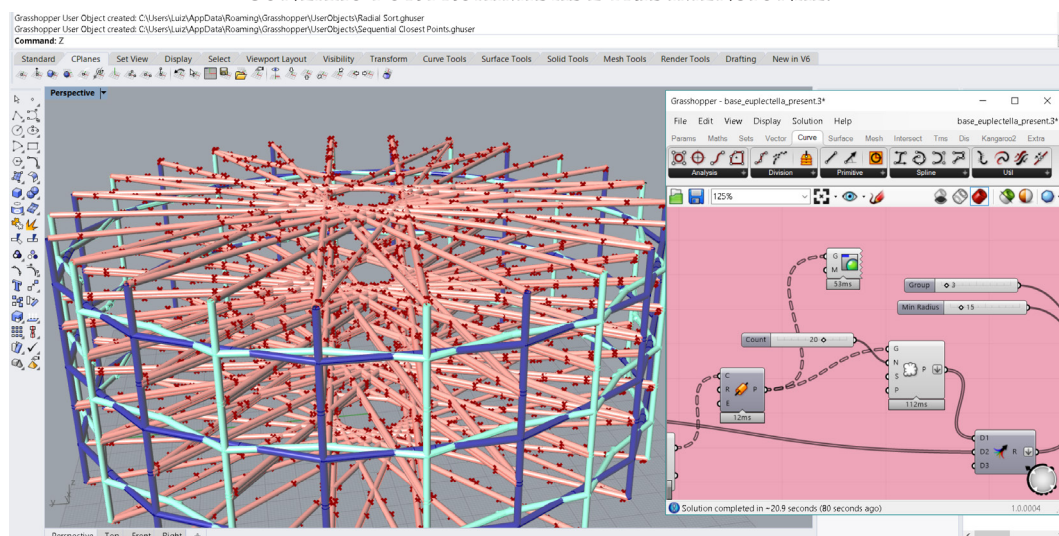
FIGURA 10 - CONEXÃO POR PROXIMIDADE TRIDIMENSIONAL 1.1



Fonte: o autor

Com um raio de 195 unidades genéricas a malha se conforma em discos planos entrelaçados, de maneira mais similar ao tampo da esponja. Entretanto essa formação ainda é excessivamente ordenada e de maneira geral com uma falta de conexões verticais. Buscando resolver essas questões foi feito um processo similar ao anterior, as conexões já apresentadas foram transformadas em canos cilindros, seu espaço 3D foi populado com 20 pontos por cano e esse novo conjunto de pontos foi mesclado com os dados dos pontos que foram utilizados na criação das conexões internas.

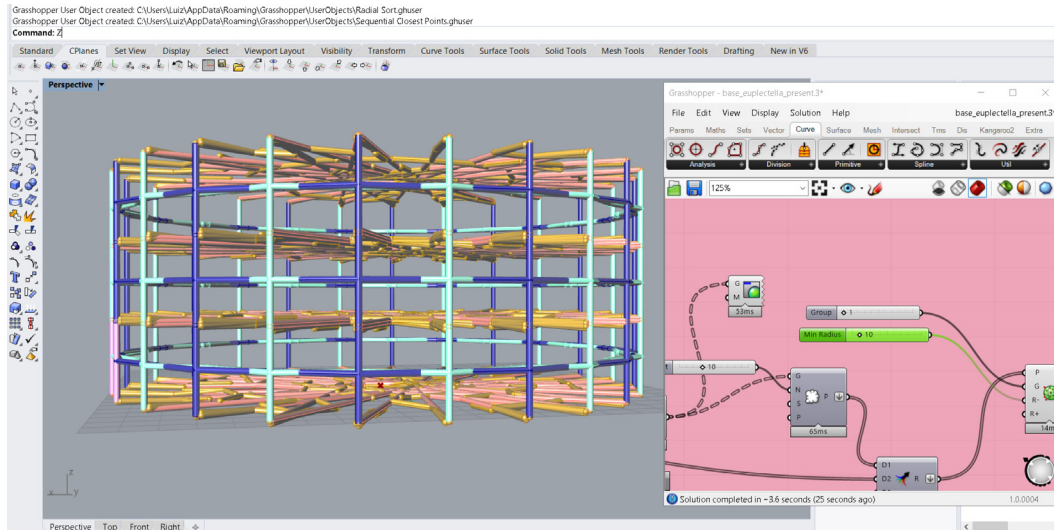
FIGURA 11 - POPULAÇÃO DE PONTOS NAS HASTES RESULTANTES DA CONEXÃO POR PROXIMIDADE TRIDIMENSIONAL.



Fonte: o autor

A partir desse conjunto de pontos provenientes dessas duas fontes se realizou novamente o processo de criar conexões por proximidade, dessa vez com a vantagem de agora termos pontos que não estão mais diretamente ligados à padronagem, mas que ainda estão dinamicamente conectados ao código e que respondem a alterações da padronagem.

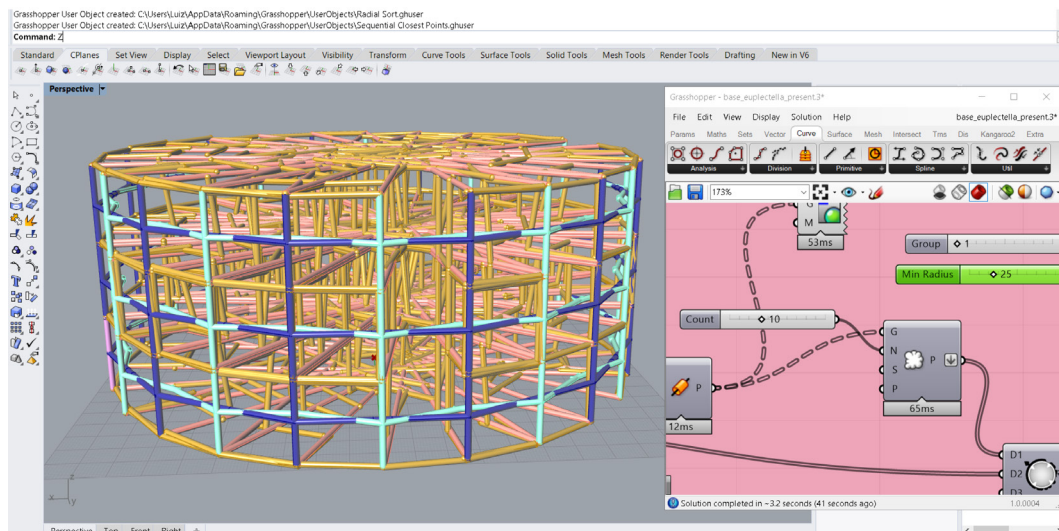
FIGURA 12 - CONEXÃO POR PROXIMIDADE TRIDIMENSIONAL 2,
RESULTADO PLANO



Fonte: o autor

Novamente então o raio de procura por conexões pode ser manipulado para buscar resultados específicos. Com um raio de 10 unidades as novas conexões se mantêm dentro do resultado anterior de conexões, apenas aumentando a densidade de hastes que conectam as estruturas, entretanto ao se aumentar o raio de procura para 25 (aproximadamente um quarto da altura máxima) as conexões se tornam mais verticais e diagonais, criando assim as conexões que faltavam na parte interna.

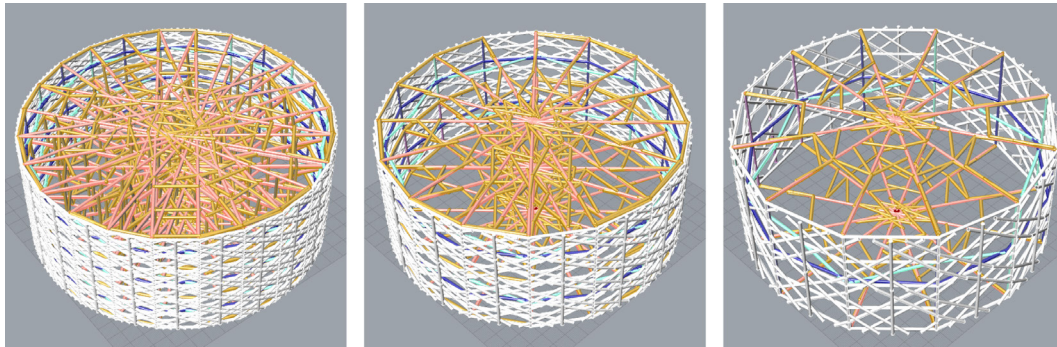
FIGURA 13 - CONEXÃO POR PROXIMIDADE TRIDIMENSIONAL 2,
HASTES VERTICAIS



Fonte: o autor

Assim se concluiu a terceira etapa do desenvolvimento do código, incluindo três níveis hierárquicos da esponja em um único código dinâmico. Do ponto de vista da emulação biomimética, que pode ocorrer no nível de forma, processo e ecossistema este trabalho ainda reflete majoritariamente o nível mais básico, que é o da forma, devido à natureza do código o nível processual também está incluso no sentido que a construção de todos os elementos parte de uma mesma origem, cada um dá suporte a si mesmo, e a complexidade do todo evolui junto às variações dos componentes mais básicos, como se observa na FIGURA 14 onde somente a quantidade de repetições x e y do início do código foram alteradas, e assim todo o código se adapta. A força do nível processual se intensifica caso os objetos 3D sejam informados com o uso de técnicas aditivas, que refletem a construção natural sem desperdício, idealmente em materiais biodegradáveis ou em um sistema fechado de produção e reaproveitamento ou reciclagem. A etapa de ecossistema não foi observada na perspectiva da biomimética.

FIGURA 14 - ALTERAÇÃO DOS VALORES DE X E Y NO CÓDIGO
COMPLETO



Fonte: o autor

3 RESULTADOS

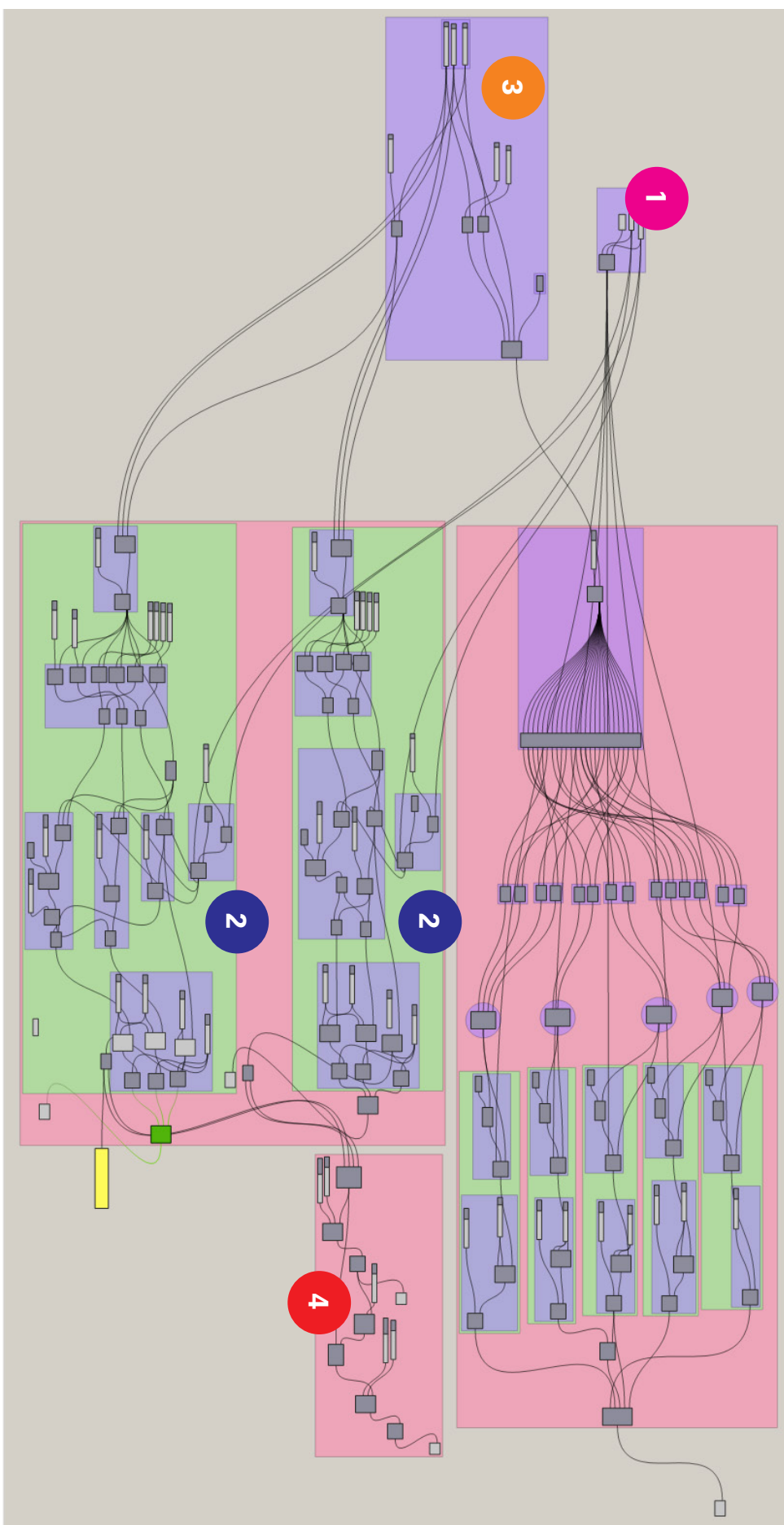
Durante o processo de desenvolvimento do código foram realizadas diversas experimentações, que resultaram em correções e incrementos na versão final deste projeto, a etapa do método já apresenta um caminho simplificado onde os erros no processo foram excluídos para favorecer um relatório sintético, após a finalização do código foram realizadas novas experimentações, que visam apresentar as capacidades do código em sua versão atual, assim como ocorreu uma reflexão sobre em que nível os resultados estão alinhados com a teoria aqui discutida. Os resultados deste trabalho são apresentados em quatro pontos:

- A apresentação da funcionalidade e usabilidade do código, como é o processo de alimentação e manipulação deste para aplicá-lo em diferentes superfícies;
- Testes do código em superfícies diversas e análise do comportamento e se as estruturas programadas continuam funcionando normalmente e passíveis de manipulação;
- Avaliação segundo a biomimética, uso dos parâmetros do *Biomimicry Institute* 3.8 para avaliar os resultados do projeto, e o que poderia ser proposto para adequar as lacunas;
- Sugestões de uso do código, possibilidades de expansão e pontos observados para refinamento e melhora.

Para utilizar o código como ferramenta, no sentido de aplicar a superfície da esponja em uma superfície qualquer (como o código trabalha com unidades genéricas projetos de qualquer escala podem ser desenvolvidos), existem quatro pontos de interferência, que podem ser observados na imagem ao lado:

- O primeiro local de interferência, apresentado em magenta, é ponto de alimentação para a formação da trama mais externa, apresentada durante o método na cor branca, caso a superfície tenha sido gerada dentro do próprio GH pode ser utilizado como único ponto de alimentação da superfície;
- O segundo local, faz referência à alimentação para a criação da grade de espículas e as conexões internas, se divide em dois para alimentar cada parte da trama, mas pode ser alimentado em um único ponto apenas duplicando as conexões;
- O terceiro local é o ponto de manipulação da grade de origem (onde se pode alterar a quantidade de repetições do módulo em X e Y, assim como tamanho base das células);
- E por fim o quarto ponto de manipulação é o das conexões internas, onde se pode alterar o número de conexões e o seu raio.

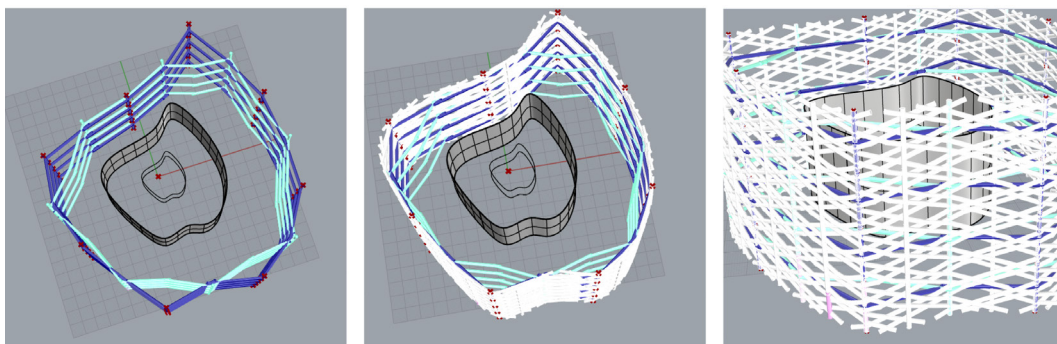
FIGURA 14 - ANATOMIA DO CÓDIGO DA SUPERFÍCIE FINAL



Fonte: o autor

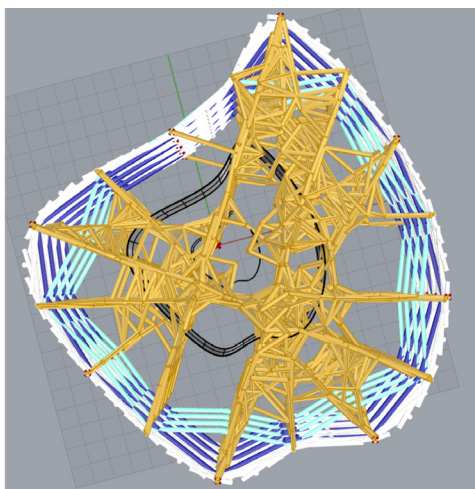
Tendo em vista que o código foi projetado com base em uma superfície regular (área externa de um cilindro), testes para avaliar o comportamento do código em diferentes tipos de superfície foram realizados. O primeiro teste realizado foi com uma superfície próxima ao cilindro, mas com as paredes irregulares, a superfície em questão foi desenhada livremente no Rhino. O principal ajuste descoberto nesse teste foi a necessidade de configurar especificamente a direção X e Y (dentro do Rhino) à superfície, visto que um erro inicial foi a leitura inversa desses fatores pelo código. A forma irregular também pede que o número de repetições em X seja aumentado, para acomodar as curvas mais curtas da superfície. Após os ajustes todas as funções do código estavam funcionando normalmente, a aplicação o código pode ser observada abaixo, nas figuras 15 e 16.

FIGURA 15 - APLICAÇÃO DO CÓDIGO 1, SUPERFÍCIE IRREGULAR



Fonte: o autor

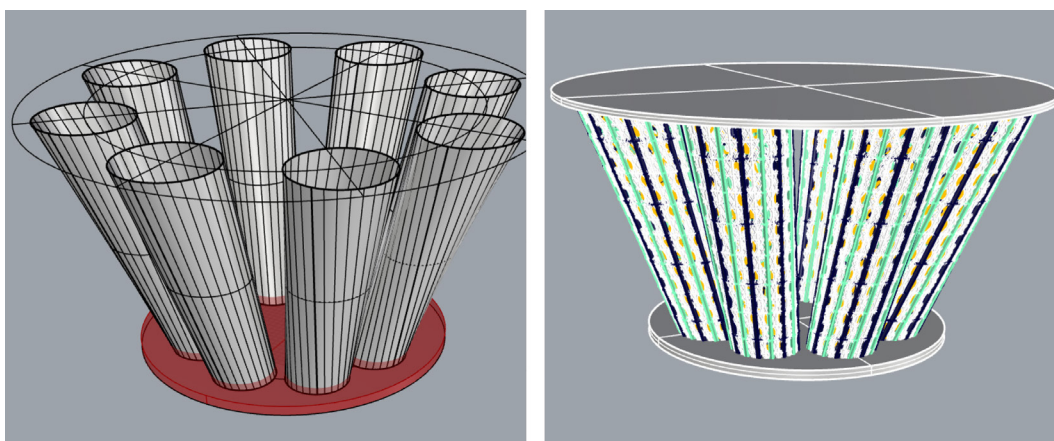
FIGURA 16 - APLICAÇÃO DO CÓDIGO 1, SUPERFÍCIE IRREGULAR COM ESTRUTURAS INTERNAS



Fonte: o autor

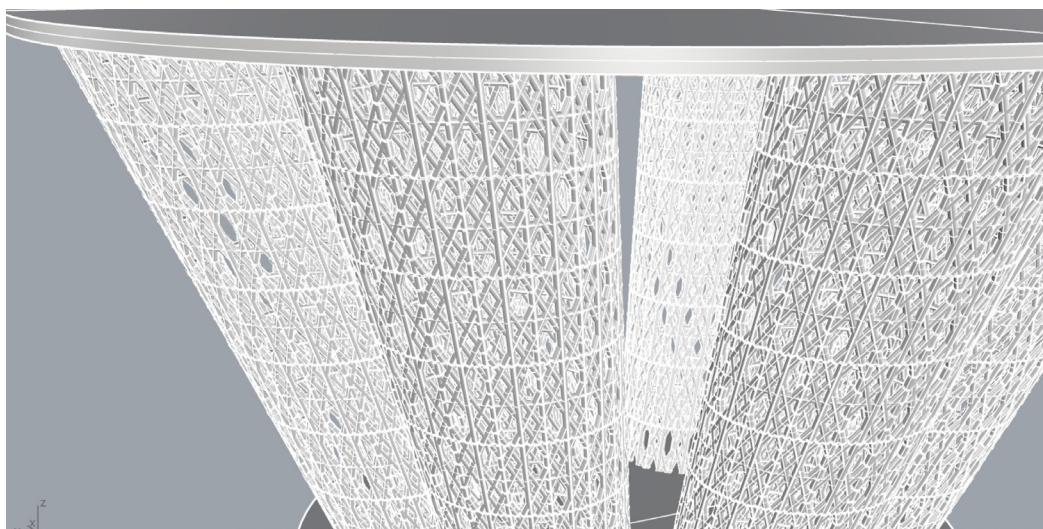
O segundo teste digital realizado foi o uso de um conjunto de elementos com o código para a criação de uma superfície de suporte, o objetivo deste teste foi testar a possibilidade de utilização do código com diversas superfícies ao mesmo tempo. O resultado descoberto é que a ferramenta só pode ser alimentada com uma única superfície por vez, caso contrário todas as superfícies serão tratadas como uma única, e assim as conexões se misturarão. É necessário então para a criação de diversas superfícies utilizar repetições do código na área do GH e alimentar cada código com a sua respectiva superfície. Alternativamente, caso as superfícies sejam idênticas, processar uma única peça e repeti-la conforme necessário na área do Rhino.

FIGURA 17 - APLICAÇÃO DO CÓDIGO 2, MÚLTIPLAS SUPERFÍCIES



Fonte: o autor

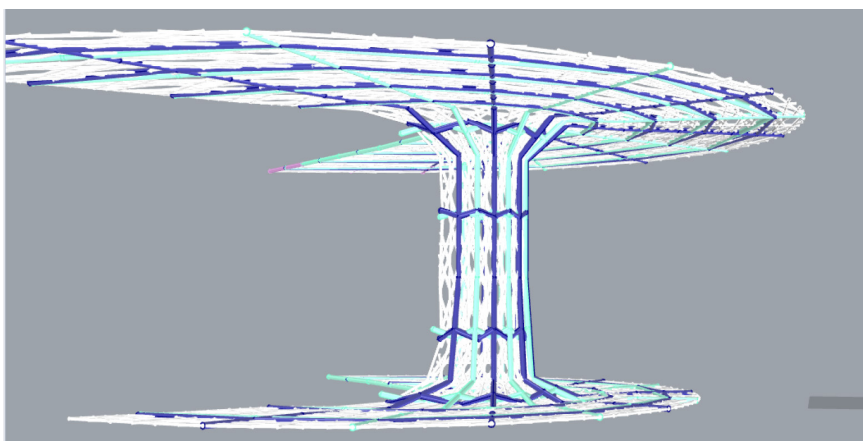
FIGURA 18 - APLICAÇÃO DO CÓDIGO 2, DETALHE DA APLICAÇÃO EM MÚLTIPLAS SUPERFÍCIES



Fonte: o autor

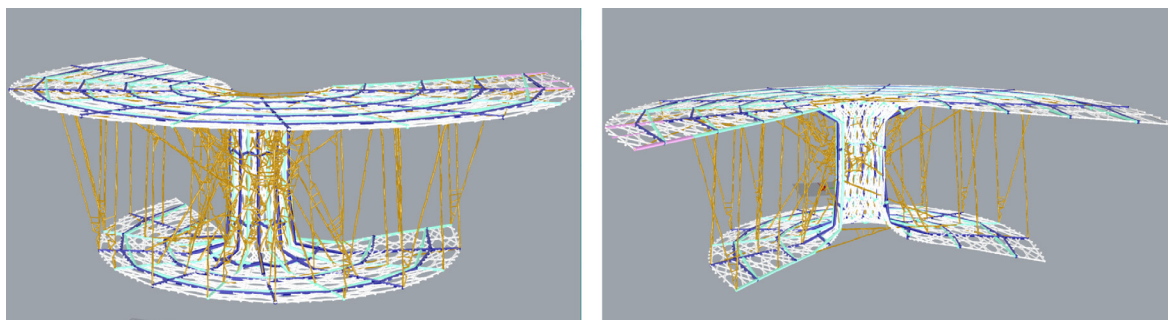
O terceiro teste realizado foi com a aplicação do código em uma superfície aberta, o objetivo aqui era observar como a criação da malha ocorreria sem o fechamento da estrutura, como havia sido em todos os exemplos até então. Os níveis hierárquicos externos se apresentaram normalmente, para a superfície em questão foi necessária uma grande quantidade de módulos, para permitir a transição em ângulo reto na base e no teto. As estruturas internas ainda funcionam também, mas requerem uma manipulação inteligente do raio de conexão para não ficarem completamente desordenadas ou presas à parede, aqui foram configuradas na altura da superfície, criando-se assim hastes verticais. Observa-se também uma limitação no código em relação à grandes variações na área da superfície, visto que para que as áreas mais extensas fiquem devidamente preenchidas as áreas mais estreitas se tornam excessivamente densas.

FIGURA 19 - APLICAÇÃO DO CÓDIGO 3, SUPERFÍCIE ABERTA



Fonte: o autor

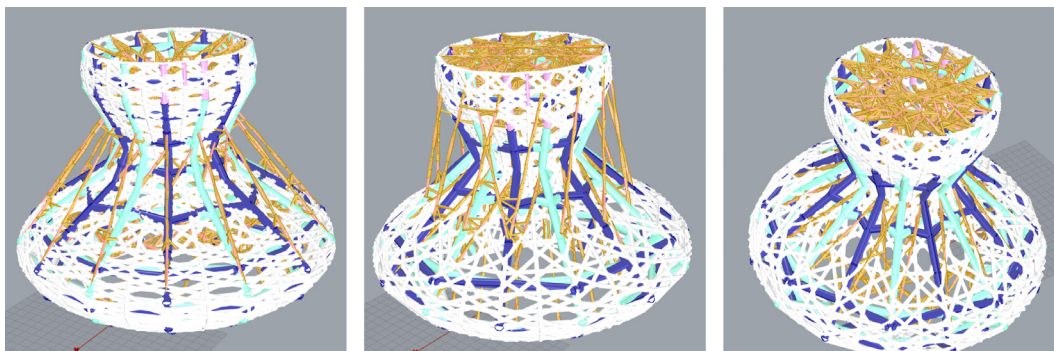
FIGURA 20 - APLICAÇÃO DO CÓDIGO 3, SUPERFÍCIE ABERTA COM ESTRUTURAS VERTICAIS



Fonte: o autor

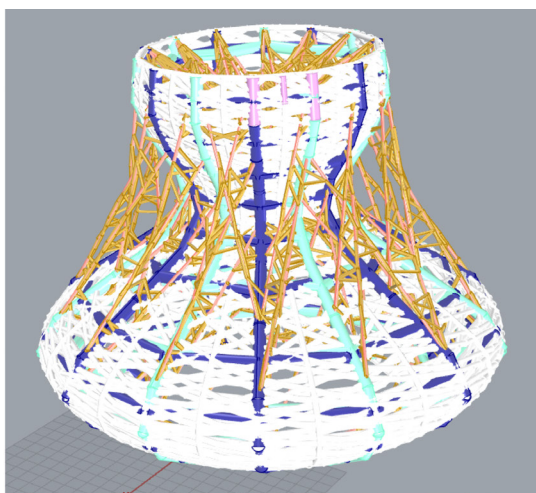
O último teste realizado foi a aplicação do código em uma superfície fechada com grande variação de espessura, com uma característica ondulada. Aqui as tramas externas funcionam normalmente, respondendo bem ao formato proposto. As conexões internas se manifestam escapando de permanecer somente da parte interior, dependendo dos dados estabelecidos para o código, observa-se nas variações abaixo (somente valores de X e Y no ponto 3 da interface do código foram alterados) como as estrutura podem ser mais inclinadas, verticais, exclusivamente internas e na imagem seguinte, complexas, com variações simples na quantidade de módulos fornecida.

FIGURA 21 - APLICAÇÃO DO CÓDIGO 4, SUPERFÍCIE ONDULADA, VARIAÇÃO DO CÓDIGO



Fonte: o autor

FIGURA 22 - APLICAÇÃO DO CÓDIGO 4, SUPERFÍCIE ONDULADA 2



Fonte: o autor

Os resultados dos testes em âmbito digital mostram que o código cumpre com a função proposta de permitir a aplicação da estrutura emulada da *Euplectella aspergillum* em praticamente qualquer superfície, contanto que com ajustes simples, em nenhum dos testes foi necessário alterar informações para além dos quatro pontos de interação já previstos, nenhum erro de processamento foi computado ou se encontrou uma superfície onde o código não foi aplicável.

A última etapa foi a análise em cima da avaliação de projetos em biomimética, o *Biomimicry Institute* 3.8 fornece uma série de pontos para serem questionados, o foco da avaliação é delinear o quão alinhado o projeto está em relação aos *Life's Principles*. Levando em consideração que o resultado não é um produto, mas sim uma ferramenta, algumas das análises incluirão recomendações de como o código poderia ser utilizado de maneira mais adequada em relação ao princípio em específico.

- Ser afinado e responsivo em relação ao seu ambiente
 - Se aproveitar de processos cíclicos: o projeto não está diretamente ligado a processos cíclicos;
 - Usar recursos de alta disponibilidade no local, com baixo custo energético: a construção do projeto favorece a aplicação com uso de técnicas de fabricação aditivas, que cumprem apenas parcialmente com esse princípio, ainda precisando de materiais industriais, contudo com gasto energético e de recursos inferior a processos de usinagem tradicionais.;
 - Incorporar o uso de *feedbacks* cíclicos: o desenvolvimento do código passou por várias etapas de refino, mas a continuidade desse princípio está relacionada à prosseguir com testes no projeto, sobretudo no âmbito físico, sempre melhorando a versão final a ser aplicada;
 - Favorecer relacionamentos cooperativos: a natureza flexível do código permite a cooperação de outros projetistas em sua evolução futura.
- Adaptação à mudanças no ambiente
 - Incorporar Diversidade: os diversos níveis hierárquicos cumprem de maneira diversa função de compor a superfície, tanto fisicamente quanto esteticamente;
 - Auto recuperação para manutenção da integridade: o projeto, tanto digitalmente quanto fisicamente, não se recuperar por conta própria.
 - Incorporar resiliência por meio de variação, redundância e descentralização: a estrutura diversa da esponja, incluindo vários elementos estruturais, favorece um sistema redundante e resiliente, onde uma falha não estraga o todo.

- Sobrevivência por meio da evolução:
 - Replicar estratégias que funcionam: as estratégias físicas da esponja foram replicadas após análise destas como parte de um *deep principle*, além dos dados obtidos na literatura.
 - Integrar o inesperado: não fez parte direta do desenvolvimento do projeto.
 - Recombinar Informações: não utilizou-se da combinação de informações relacionadas de vários organismos.

- Ser eficiente com o uso de recursos
 - Usar processos que tenham um baixo consumo energético: o uso da modelagem digital e um código flexível favorece menos testes que reque-rem custo energético, assim como a recomendação para o uso da fabricação aditiva.
 - Usar design multi-funcional: o projeto em si não tem diversas funções definidas, mas enquanto ferramenta ele pode ser aplicado conforme desejado, tendo em vista as qualidades da esponja em si. A proposição definitiva de suas possibilidades funcionais ainda precisa de maior experimentação.
 - Utilizar materiais recicláveis ou que podem ser reciclados: não existem materiais definidos para a aplicação do projeto, sendo esses definitivamente recomendados.
 - Favorecer a função por meio da forma: as funções esperadas (estrutural e estética) estão diretamente ligadas à emulação da forma da esponja, a função da ferramenta (ser aplicado em qualquer superfície), está diretamente ligada à sua forma de código e sua interface.

- Integrar desenvolvimento e crescimento
 - Auto-organização: o sistema se organiza automaticamente com base nos requisitos fornecidos ao código, conforme apresentado anteriormente.
 - Construir os sistemas pensando do início ao fim: o sistema de aplicação da ferramenta ainda está em aberto para suas diversas possibilidades;
 - Utilizar componentes modulares e interligados: os elementos são modulares em âmbito digital, idealmente sendo consolidados em peças únicas.

A superfície resultante tem aspectos constitucionais e relacionais, visto que ela é apresentação visual, constituinte da forma (e composta para a fabricação digital), carregada de conteúdo biomimético e alinhada com o conjunto de padrões da biofilia que fazem referência à qualidade da forma e percepção tátil, podendo ser utilizada em espaços que busquem favo-

recer relações de interesse, atenção e predileção visual em seus usuários.

O desenvolvimento deste projeto buscou conciliar o projeto de design com questões como o desenvolvimento de superfícies, biomimética, biofilia, sustentabilidade, modelagem e fabricação digital, modelagem por programação e inovação de maneira geral. O resultado final do projeto não cumpre com os requisitos plenos de nenhuma dessas áreas, contudo apresenta uma mescla válida tendo em vista as limitações de tempo e recurso do projeto, com muita possibilidade para refino e expansão em cima da exploração desenvolvida.

As maiores limitações encontradas na execução do projeto consistiram do tempo de processamento de certas etapas do código, o desafio de desenvolver a técnica de modelagem paramétrica conjuntamente ao desenvolvimento do projeto em si e a complexidade do projeto ideal em biomimética.

A continuidade do projeto estará voltada sobretudo para o teste das qualidades físicas, visuais e relacionais que o projeto possui, buscando finalizar também a prospecção e o estabelecimento de quais serão as melhores práticas para uma aplicação sustentável e eficaz do código.

A linguagem visual da estrutura gerada é um padrão complexo e entrelaçado, formando uma textura modular, que combina características ordenadas e geométricas com elementos de aparência aleatória e desordenada. A partir dessa qualidade estética algumas aplicações com enfoque visual possíveis são: painéis arquitetônicos para fachadas ou interiores, divisórias com passagem de luz para ambientes, criação de tampos, encostos e detalhes vazados em mobiliário, cúpula de luminárias (onde a saída de luz interna seria limitada pelo padrão da textura) e qualquer superfície na qual se deseje criar uma textura tridimensional onde esta seria lisa.

Do ponto de vista estrutural o código precisa passar por testes físicos antes que se tenha pleno conhecimento sobre suas capacidades. A sugestão de utilização é primariamente para objetos de pequena e média escala, sendo possível testá-lo em estruturas de sustentação de maneira geral. Exemplos seriam pernas de móveis, vasos, esculturas, vigas, montantes laterais e internos de mobiliário e possivelmente objetos feitos inteiramente da modulação gerada pelo código. O contato com profissionais da engenharia será útil para avaliar as capacidades técnicas da composição estrutural, visto que o código tem uma grande gama de possibilidades a serem testadas, variando entre escolha de material, densidade dos módulos e da estrutura interior, espessura das espículas e angulação e formato da superfície que delimita o código.

Por fim o ideal será também compartilhar o código com outros projetistas para que ele possa ser trabalhado sobre a perspectiva de outros profissionais e assim atingir o seu potencial dentro da perspectiva da inovação por meio da colaboração e abertura do conhecimento.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A produção do código baseado na *Euplectella aspergillum* permitiu uma nova experiência projetual tanto do ponto de vista teórico como do ponto de vista metodológico, envolvendo áreas que podem ajudar o designer a desenvolver projetos contextualizados em problemas e oportunidades contemporâneos, se aproveitando da grande disponibilidade de informações tanto para conseguir trabalhar com dados que antes não estariam disponíveis como para gerar projetos que possam ser prototipados, compartilhados e eventualmente fabricados digitalmente.

Os ganhos do projeto envolveram o desenvolvimento técnico no programa *Grasshopper*, o uso da modelagem paramétrica aplicada ao design de superfície, a exploração da biomimética como teoria e método para projetos de design. Os resultados do projeto, com o desenvolvimento de uma técnica abre possibilidades para o desenvolvimento de outros projetos envolvendo modelagem paramétrica, sobretudo no que diz respeito ao desenvolvimento de padronagens dinâmicas tridimensionais e suas aplicações, assim como o refino da própria padronagem já desenvolvida, que poderá ser levada a espaços de prototipação para que suas capacidades possam ser avaliadas.

As principais limitações do projeto foram de ordem técnica, primeiramente relacionada ao aprendizado necessário para o desenvolvimento do design paramétrico, e o potencial computacional para se trabalhar com velocidade e eficiência nesse tipo de projeto. Limitações financeiras e de tempo também limitaram o desenvolvimento de todas as etapas do projeto, principalmente no que diz respeito à prototipação física do projeto. O projeto também se beneficiaria de uma equipe maior e com outras especialidades, sobretudo engenheiros e biólogos, que poderiam acrescentar no que diz respeito aos testes físicos do projeto, a conclusão sobre as qualidades físicas da estrutura e no aprofundamento sobre as estruturas estudadas.

A pesquisa em biomimética e design ainda possui muito espaço para expansão, tanto no ponto de vista da inovação formal como na possibilidade de utilizar as técnicas de facilitação visual do design para propagar o ethos da biomimética, essas duas áreas são naturalmente complementares e o aumento de trabalhos acadêmicos e empresariais nessas duas áreas será essencial para se criar um corpo de referência capaz de aumentar a eficácia com que os princípios da vida são aplicados como inspiração e avaliação para projetos sustentáveis em design.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ATTARAN, Mohsen. **The rise of 3-D printing: The advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing**, 2017.

BAXTER, M. **Projeto de produto: guia prático para o design de novos produtos**. 3. ed, tradução Itiro Iida. São Paulo: Blucher, 2011.

BAUMEINSTER, D. et al. **Biomimicry Resource Handbook: A seed bank of Best Practices, Biomimicry 3.8**, Missoula, Montana, EUA, 2014.

BBC NEWS, **The psychology behind Facebook data breach**, abril, 2018. Acessado em 29 de outubro, 2018. Disponível em: <https://www.bbc.com/news/av/technology-43674480/facebook-data-how-it-was-used-by-cambridge-analytica>.

BENYUS, J. M. **Biomimética: Inovação inspirada pela natureza**. 6. ed. São Paulo: Editora Cultrix, 2011.

CARDOSO, R. **Design para um mundo complexo**. 1.ed São Paulo: Cosac Naify, 2011.

CHICCA JUNIOR, N. A. **Impressão 3d na Cultura do Design Contemporâneo**, 2014.

ERSOS, C. A. M.; COELHO, D. **An Approach to Validation of Industrial Design Concepts Inspired by Nature**. Design Principles and Practices: an International Journal p. 535-552, 2011.

FLUSSER, V. **O mundo codificado : por uma filosofia do design e da comunicação**. Organizado por Rafael Cardoso. Tradução de Raquel Abi-Sâmara. São Paulo: UBU, 2017.

FONSECA DE CAMPOS, P. E. **A insustentável neutralidade da tecnologia: o dilema do Movimento Maker e dos Fab Labs**, Liinc em Revista, Rio de Janeiro, v.14, n.1, p. 33-46, 2018.

GRAGNANI, Juliana. **Por que o Brasil se transformou em terreno fértil para a difusão de notícias falsas durante as eleições**, BBC News Brasil, novembro, 2018. Acessado em 29 de outubro, 2018. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/brasil-45978191>.

HEERWAGEN, J. H.; ORIAN, G. H. **Humans, Habitats, and Aesthetics** In: KELLERT, Stephen R.; WILSON, Edward O. (eds). The Biophilia Hypothesis. ISLAND PRESS/Shearwater Books, Washington, D.C. - Covelo, California, n.p, 1993.

KENNEDY, E. et al. **Biomimicry: A Path to Sustainable Innovation**, DesignIssues: Volume 31, Number 3, p. 66-73, 2015.

KULA, D.; TERNAUX, É. **Materiologia: o guia criativo de materiais e tecnologias**, tradução Alyne Azuma Rosenberg. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2012.

MCKEAG, T. **Little Things Multiply Up: Hierarchical Structures**. In: Zygote Quarterly 09, p.8-27, 2014.

PAUW, I. de. **Nature-Inspired Design Strategies for Sustainable Product Development**, Delft Academic Press, 2015.

RIFKIN, J. **The third industrial revolution: How the internet, green electricity, and 3-D printing are ushering in a sustainable era of distributed capitalism**. The World Financial Review, 2012. Disponível em <http://www.worldfinancialreview.com/?p=2271>.

ROSSIN, K. J. **Biomimicry: nature's design process versus the designer's process**, 2010.

SCHNEIDER, J.; STICKDORN, M. **Isto é design thinking de serviços**, tradução Mariana Bandarra, Porto Alegre: Bookman, 2014.

SCHWARTZ, A. R. et al. **Design de superfície: por uma abordagem projetual geométrica e tridimensional**, 2008.

TERRAPIN BRIGHT GREEN : **14 patterns of biophilic design, Improving Health & Well-Being in the Built Environment**, 2014.

ULRICH, R. S. **Biophilia, Biophobia, and Natural Landscapes**. In: KELLERT, Stephen R.; WILSON, Edward O. (eds). The Biophilia Hypothesis. ISLAND PRESS/Shearwater Books, Washington, D.C. - Covelo, California, n.p, 1993.

VINCENT, J. F. V. et al. **Biomimetics: its practice and theory**, 2006.

VOLSTAD, N. L. **Biomimicry – a useful tool for the industrial designer?**, 2008.

WEAVER, J. C. et al. **Hierarchical assembly of the siliceous skeletal lattice of the hexactinellid sponge Euplectella aspergillum**, 2007.

WILSON, E. O. **Biophilia**, 1.ed, Harvard University Press, 1984.